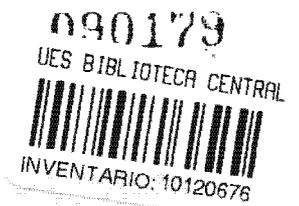


T.
551.49
I61
1977
F.I.YARQ



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

INTRUSION SALINA EN LA PLANICIE
COSTERA CENTRAL Y SU INFLUENCIA EN
FUTUROS PROYECTOS DE DESARROLLO



NOVIEMBRE - 1977
SAN SALVADOR EL SALVADOR CENTRO AMERICA

TRABAJO QUE DEDICAMOS :

A NUESTROS PADRES

A NUESTRAS FAMILIAS

Quienes en una u otra forma nos dieron palabras de aliento a lo largo
de nuestra educación .

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CONSEJO DE ADMINISTRACION PROVISIONAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

SECRETARIO GENERAL

Dr . Raymundo Antonio Rodríguez Barrera

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO

Arq . Manuel Enrique Alfaro

SECRETARIO

Ing . Luis A. Carbajal Valdez

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

Ing . Roberto Oswaldo Salazar Martínez

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

NOVIEMBRE, 1977 .

TRABAJO PRESENTADO POR:

Rigoberto Ovidio Magaña Barrientos

Mauricio Antonio Melhado Lara

Leónidas Guillermo Delgado Segovia

Mario Alfredo Ascencio Alemán

Previa Opción al Título de
INGENIERO CIVIL

DIRECTOR

Ing. René Francisco Toledo Mendoza

ASESOR

Ing. Hernán Romero Chavarría

INDICE GENERAL

CAPITULO I

- I.1 Importancia y Justificación del Estudio
- I.2 Objetivos del Estudio

CAPITULO II

- II.1 Ubicación y Descripción de la Zona
 - II.1.1 Geografía y Drenaje
- II.2 Características socio-económicas
 - II.2.1 Población
 - II.2.2 Educación
 - II.2.3 Tenencia de la tierra
 - II.2.4 Infraestructura
- II.3 Uso actual del suelo y del agua

CAPITULO III

HIDROMETEREOLOGIA

- III.0 Metereología
- III.1 Climatología
 - III.1.1 Clima en El Salvador
 - III.1.2 Clima en la planicie costera para-central
 - III.1.3 Indices climatológicas
- III.2 Precipitación
 - III.2.1 Recolección de Estadísticas
 - III.2.2 Verificación y relleno de estad.
 - A - Análisis de la curva doble másica
 - B - Media ponderada

- III.2.3 Precipitación media anual de la zona
 - A - Polígonos de Thiessen
 - B - Método de Isoyetas
- III.2.4 Variación estacional de la precipitación
- III.2.5 Variación anual de la precipitación
- III.3 Evapotranspiración
 - III.3.1 Evapotranspiración potencial
 - III.3.2 Evapotranspiración real
 - III.3.3 Evap. real anual de la zona
- III.4 Hidrología
 - III.4.1 Drenaje
 - III.4.2 Contribución subterránea a los ríos
 - III.4.3 Escorrentía superficial
 - A - Relleno de estadísticas
 - B - Lámina anual escurrida

CAPITULO IV

HIDROGEOLOGIA

- IV.1 Geología General (Zona entre cuencas Jíboa-Lempa)
 - IV.1.1 Tectónico
 - IV.1.2 Geología histórica
 - IV.1.3 Geología general (entre cuencas Lempa y Grande de San Miguel)
 - IV.1.4 Hidrogeología de las rocas
 - IV.1.5 Características de las rocas encontradas en el área de estudio

- IV.1.6 Rocas del sistema montañoso
- IV.1.7 Rocas de la planicie
- IV.1.8 Geología histórica
- IV.2 Agua subterránea
 - IV.2.1 Inventario de pozos
 - IV.2.2 Ocurrencia y movimiento del agua subterránea
- IV.3 Rendimiento de seguridad del acuífero
- IV.4 Balance hídrico

CAPITULO V

- V.1 Calidad del agua
 - V.1.1 Análisis de resultados
- V.2 Clasificación del agua para consumo humano
- V.3 Clasificación de las aguas con fines de riego
 - A - Conductividad eléctrica
 - B - Relación de absorción sodio (RAS)
 - C - Sales tóxicas
- V.4 Clasificación del agua para uso industrial

CAPITULO VI

INTRUSION SALINA

- VI.1 Generalidades
- VI.2 Parámetros de la salinidad
- VI.3 Principales métodos de prevención y control de la intrusión salina
- VI.4 Análisis de resultados

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1 Conclusiones

VII.2 Recomendaciones

INDICE DE CUADROS

CUADROS

No. 1	Población
No. 2 A	Productores para Alfabetismo
No. 2 B	Recursos Educativos en la zona
No. 3	Estratificación de la tierra
No. 4	Infraestructura
No. 5	Utilización de la tierra en el área
No. 6	Cultivos predominantes en el área
No. 7	Áreas regadas
No. 8	Usos del agua
No. 9	Características climatológicas de la zona
No. 10	Red Meteorológica de la planicie costera para-central
No. 11	Precipitación mensual y anual
No. 12	Precipitación - Polígonos de Thiessen
No. 13	Precipitación - Método Isoyetas
No. 14	Temperatura y porcentaje - Horas Luz Solar
No. 15	Cálculo del coeficiente de consumo ponderado
No. 16	Evapotranspiración
No. 17	Períodos de Recolección-Escorrentía Superficial
No. 18	Caudales promedios mensuales
No. 19	Ecuaciones de Recesión - Escorrentía
No. 20	Escorrentía Superficial - Lámina mensual
No. 21	Escorrentía Superficial - Volumen mensual

CUADROS (Continuación)

No. 22	Escorrentía Superficial total de la zona
No. 23	Registro de Niveles Freáticos
No. 24	Calidad de agua
No. 25	Calidad de agua para consumo humano
No. 26	Diagrama para la clasificación de agua para riego
No. 27	Conductividad - Relación de Absorción del Sodio (RAS)
No. 28	Carta del Índice de Saturación de Langelier

INDICE DE GRAFICAS

- | | |
|---------|---|
| No. 1 | Período de Registro Estaciones Pluviométricas |
| No. 2 | Precipitación - Curva Doble Másica - Usulután Vrs. Zacatecoluca |
| No. 3 | " " " " Santa Cruz Porrillo Vrs. Zacatecoluca |
| No. 4 | " " " " " " Vrs. Usulután |
| No. 5 | " " " " " " Vrs. San Marcos Lempa |
| No. 6 | " " " " " " Vrs. Hacienda
San Juan del Gozo |
| No. 7 | Distribución Varacional Promedio de la Precipitación - Santiago de María |
| No. 8 | Distribución Varacional Promedio de la Precipitación - Sta. Cruz Porrillo |
| No. 9 | Variación cíclica Anual de la Precipitación - Usulután |
| No. 9 A | Curvas de Recesión - Lempa y Jiboa |
| No. 10 | Modelo - Curva de Resesión |
| No. 11 | Fluctuación Nivel Freático |

INDICE DE PLANOS

- No. 1 Topográfico e Hidrológico
- No. 2 Uso Actual del Suelo
- No. 3 Polígonos de Thiessen
- No. 4 Isoyetas
- No. 5 Unidades Hidrogeológicas
- No. 6 Geológico
- No. 7 Isofreáticos
- No. 8 Isotransmisibilidad
- No. 9 Isosalinas - Conductividad Eléctrica
- No. 10 Isosalinas - Sólidos Disueltos

CAPITULO I

I.1 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.

El acelerado desarrollo que ha tenido la humanidad en los últimos años ha dado como resultado una preocupación en todos los países por aprovechar al máximo los recursos naturales renovables, aunque no siempre se han previsto las consecuencias a largo plazo derivadas de alguna explotación irracional de los mismos. Dentro de éstos, el recurso agua es indudablemente el de mayor importancia tanto para el consumo humano, como para el desarrollo Industrial, Agrícola y Ganadero de un país; sin embargo, en las zonas aledañas a los mares la utilización normal del recurso agua se ve restringida por el problema de la intrusión salina.

El Salvador, aunque ha tenido logros significativos en el proceso de la industrialización, basa su desarrollo primordialmente en la explotación agrícola. Tanto para una actividad como para la otra, la utilización del agua es vital y esta necesidad conlleva muchas veces a un consumo no planificado del recurso agua. Esta circunstancia, aunada al hecho de que, en el país, el recurso tierra es limitado, puede traer como consecuencia una inducción de la intrusión salina en el área costera, cuyo control puede tornarse difícil si no se toman las medidas adecuadas a tiempo.

En el país se han hecho algunos estudios aislados tratando de determinar la penetración de la cuña salina, pero, en términos generales, no se cuenta con una información adecuada que permita diseñar modelos metodológicos aplicables a las diferentes áreas con idéntico problema en la zona costera. El presente trabajo, "Intrusión Salina en la Planicie Costera Para-Central y su Influencia en Futuros Proyectos de Desarrollo", abarca la planicie costera de los departamentos de La Paz, San Vicente y Usulután,

limitada por los ríos Jiboa y Grande de San Miguel, zona de alta productividad agropecuaria, que puede dar una idea del problema a escala nacional.

Esta zona en estudio es apta para el desarrollo de programas agropecuarios, proyectos turísticos, etc., pero el agua superficial no es suficiente para suplir las demandas generales por estos programas, por lo que se hace necesario cuantificar la disponibilidad del agua subterránea y la posible intrusión salina con el fin de obtener el máximo provecho del acuífero, así como las medidas que deberán tomarse para evitar el avance de la cuña salina, y el uso que puede darse al agua ya afectada por dicho avance.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

a) Determinación de la zona o cuña de intrusión salina.

Con el objeto de poder evaluar el avance del agua salada a fin de que sirva como guía para recomendar un tipo adecuado de explotación del manto acuífero.

b) Clasificación preliminar del agua subterránea en las zonas de estudio.

Con el propósito de evaluar más objetivamente el uso racional que se puede dar a este recurso.

c) Determinación del rendimiento seguro del acuífero de la zona.

A fin de evitar su sobreexplotación e impedir de esta manera la penetración de la cuña salina.

CAPITULO II

II.1 UBICACION Y DESCRIPCION DE LA ZONA.

II.1.1 GEOGRAFIA Y DRENAJE.

La zona en estudio está localizada entre los paralelos $13^{\circ} 09'$ y $13^{\circ} 35'$ latitud norte y los meridianos $88^{\circ} 24'$ y $89^{\circ} 03'$ Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. Cubriendo una extensión de 2710 Km^2 , que comprende la zona sur-oriental del Departamento de La Paz y la zona sur de los Departamentos de San Vicente y Usulután (Ver Figura No. 1).

Al norte está limitado por el Lago de Ilopango, el Departamento de Cuscatlán, el volcán de San Vicente, las cuencas de los ríos Acahuapa y San Simón, la ciudad de Santiago de María y el Volcán de Usulután; al sur está limitada por el Océano Pacífico; al Este por la cuenca del río Grande de San Miguel y al Oeste por la cuenca del Río Jiboa.

La zona en mención es atravesada de Occidente a Oriente por la carretera de El Litoral, la cual en su recorrido comunica las ciudades de Santiago Nonualco, San Rafael Obrajuelo, San Juan Nonualco, Zacatecoluca, Jiquilisco, Usulután y otras.

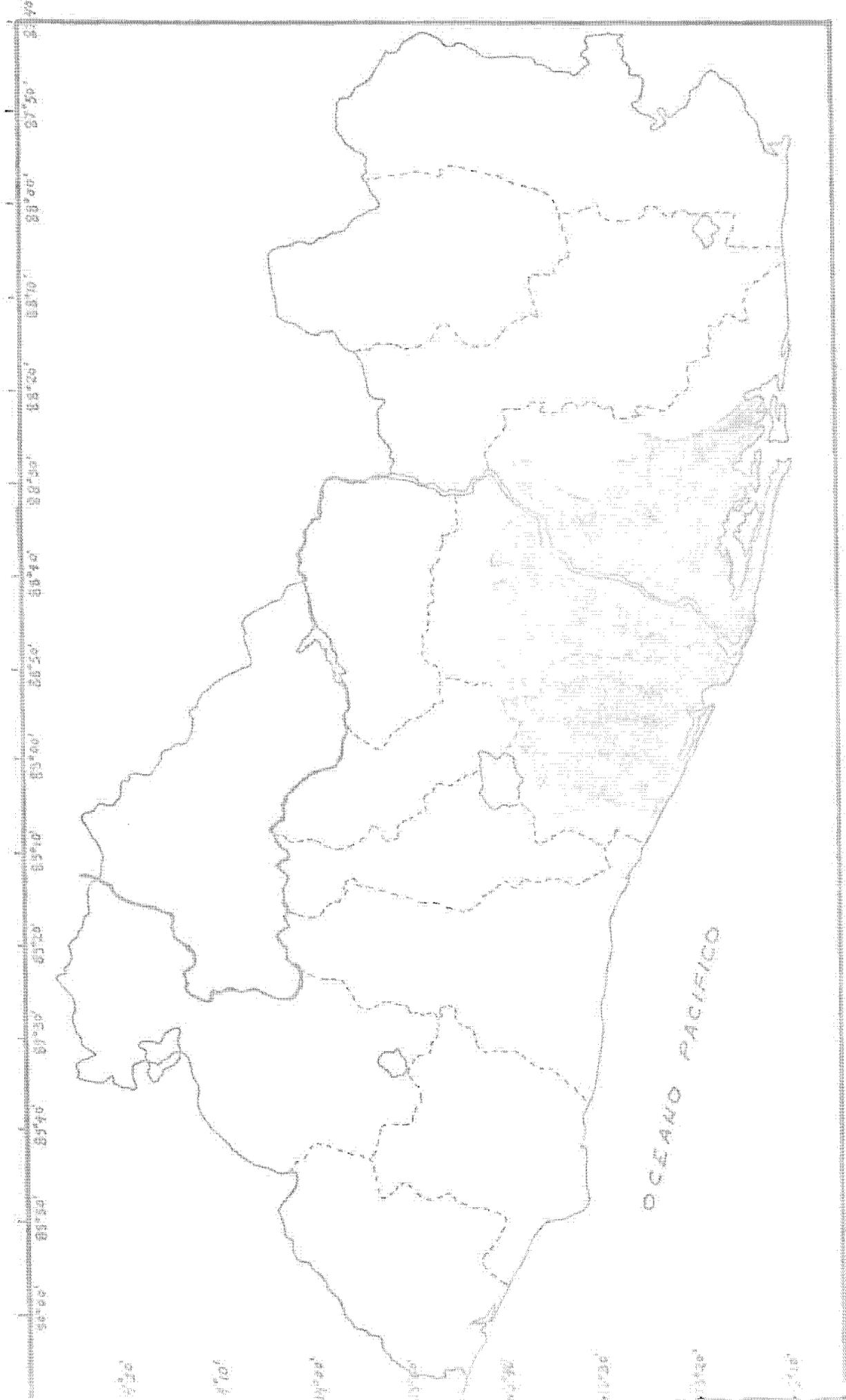
Normalmente a ésta parte, tanto al Norte como al Sur, una red de caminos secundarios que comunican las localidades más importantes.

Paralelo a la carretera de El Litoral y partiendo de Zacatecoluca corre hacia el Oriente el Ferrocarril de El Salvador (F.E.S.).

Al Norte se encuentran las máximas elevaciones de la zona: El Volcán de San Vicente con 2180 m. sobre el nivel del mar, y el Volcán de Usulután con 1430 m. sobre

FIGURA Nº 1

PLANO DE UBICACION



el nivel del mar; el Cerro Taturete con una elevación de 1000 m. sobre el nivel del mar y el Cerro Las Palmas con una elevación de 1400 m. sobre el nivel del mar (Ver mapa No. 1).

Desde el punto de vista fisiográfico pueden distinguirse tres aspectos importantes:

- Planicies inclinadas disecionadas
- Planicies aluviales costeras sin disecionar
- Esteros, islas y penínsulas.

Al Norte de la zona se encuentran planicies inclinadas de pie de monte. Estas tienen una moderada inclinación de Norte a Sur y estarán de ligera a fuertemente disecionadas, el relieve varía de moderado a muy bajo, dependiendo del grado de diseción.

Las planicies aluviales se encuentran entre las planicies inclinadas y el mar. Son áreas amplias sin diseción, de formación relativamente recientes originadas por la sucesiva deposición de materiales arrastrados por los ríos que la cruzan.

La red de drenaje es influenciada por la zona norte; caracterizándose tres sistemas de drenaje:

- Dentrítico en la Zona Norte
- Sub-Paralelo en la Zona Central
- Paralelo en la Zona Sur

El sistema de drenaje es interrumpido en su continuidad en ciertos lugares por la presencia de determinadas formaciones.

Entre los ríos más importantes de la zona se encuentran: El Lempa, El Jiboa, Japonigá, El Sapullo, Guayabó, Potrero, San Lorenzo, Eje, Molino y otros. La red de drenaje no está bien definida ya que hay cauces en los que es difícil determinar su curso.

Debido a la suavidad de las pendientes del terreno (menores del 3%) a la pobre definición de sus cauces, la baja posición y la cercanía de los ríos, éstos no son capaces de conducir los sobre flujos en invierno ocasionando inundaciones periódicas, contribuyendo así a aumentar los problemas de drenaje.

El río principal de la zona es El Lempa que forma en el área de estudio la región conocida como "El Valle del Bajo Lempa" con un ancho aproximado de 10 Km. El terreno es dependiente muy suave hacia el Sur, lo que provoca que el drenaje del Valle sea paralelo antes de llegar al Lempa.

En las cercanías del mar es notoria la presencia de esteros e islas como consecuencia de la acción del mar sobre las tierras adyacentes.

En términos generales los suelos de la zona son adecuados para los cultivos intensivos siempre que se utilicen las técnicas adecuadas para controlar y evacuar los excesos de agua en la época húmeda y proveerlos de agua en la estación seca.

II.2 CARACTERÍSTICAS SOCIO-ECONOMICAS.

En todo proyecto de ingeniería uno de los factores decisivos para su ejecución es el estudio socio-económico, ya que éste incluye las posibles ventajas y beneficios que pueda recibir la zona afectada con la ejecución del proyecto.

Así en el caso del actual estudio, la población, la agricultura y la ganadería sirven para determinar la demanda de agua en la zona, la tenencia de la tierra en forma cualitativa el avance de la intrusión salina en la zona ya que una proliferación de minifundios a lo largo de la costa incide en el uso irracional que pueda dársele al agua subterránea, permitiendo la ampliación de la cuña salina; la industria determina el uso actual de gran parte del agua permitiendo evaluar mejor su utilización y realizar proyecciones para un uso futuro; otro de los factores que influyen es la infraestructura ya que un sistema vial deficiente afecta el nivel de educación de las poblaciones y el desarrollo integral de la zona.

A continuación se analizarán algunos de los aspectos ya mencionados:

II.2.1 POBLACION

Las estadísticas existentes indican que en el área estudiada, la población rural representa el 69% y la urbana el 31%, por lo que se determina que el área es eminentemente rural (ver cuadro 1).

De acuerdo a datos suministrados por la Dirección General de Estadística y Censo, para 1976 el índice de Natalidad del país fue aproximadamente de 40.2 hab./mil y el índice de Mortalidad fue de 7.5 hab./mil, siendo la mortalidad infantil de 55.3 hab./mil; esto nos indica un ritmo de crecimiento del 3.3%. Ya que la densidad de la población en la zona es de 207 habitantes por Km², superior en un 14% al promedio nacional que es de 181 hab./Km², si se considera un crecimiento constante igual, dentro de algunos años la demanda de agua potable generada será tal que se convertirá en un serio problema para la zona.

II.2.2 EDUCACION:

La introducción de técnicas adecuadas para la explotación del suelo y del agua, dependerá del nivel educativo de los productores de la zona. El problema educacional es grande ya que más de la mitad del total de productores en la zona son analfabetas (ver cuadro No. 2 A). De esto se deduce que cualquier sistema de tecnificación deberá ser precedido por un vasto programa de orientación para lograr un aprovechamiento óptimo de dicho sistema. Sin embargo, el hecho de que el 66% de las escuelas de los Departamentos Involucrados en el área de estudio se encuentran en la zona (ver cuadro No. 2 B), es alentador en cuanto a los resultados de programas de tal naturaleza.

II.2.3 TENENCIA DE LA TIERRA:

En el cuadro No. 3 se observa que el 92.9% de las explotaciones de la zona apenas cubren el 25.4% de la superficie, perteneciendo a los estratos más pequeños; este hecho indica que el minifundismo es la forma de propiedad de la tierra que predomina en la zona la cual, como ya se mencionó anteriormente, de acentuarse podría causar problemas de sobreexplotación del agua subterránea si no se racionaliza la forma de explotación del acuífero. Por otro lado, el 0.92% de las explotaciones abarcan el 46.8% de la superficie total de la zona, siendo estos estratos de 100 o más hectáreas; esto podría favorecer la aplicación de técnicas de mejoramiento agropecuario que incidan en el buen uso del agua subterránea, en el caso de que éstas fueran necesarias, ya que el potencial económico de los propietarios podría costear un programa de tal naturaleza.

II.2.4 INFRAESTRUCTURA:

En el cuadro No. 4 se observa que las carreteras pavimentadas en los departamentos de La Paz, San Vicente y Usulután representan el 19.23% del país; igualmente, las carreteras revestidas y de tierra representan el 26.86% y el 21.33% del total del país respectivamente, siendo en conjunto el 22.09% de caminos del país. De la información estadística presentada se deduce que el sistema vial cualitativamente es adecuado a la zona de estudio ya que se tienen carreteras pavimentadas, caminos secundarios y terciarios que son necesarios para poder soportar un desarrollo agrícola e industrial de carácter intensivo.

II.3 USO ACTUAL DEL SUELO Y DEL AGUA.

Los datos relativos al aprovechamiento de la tierra constituyen por sí solos un panorama numérico de toda la agricultura de la zona y demuestran las características relacionadas con la distribución de la superficie de las explotaciones (Ver plano No. 2).

En el cuadro No. 5 se observa que el 44.98% se destina al cultivo de tierras de labranza, el 14.31% está ocupado por los cafetales, coco y demás frutales; el 26.55% representa la tierra empleada para el pastoreo; el 7.75% constituye la reserva forestal de la zona; finalmente el 6.41% son las explotaciones que no se utilizan directamente para la producción agrícola.

Al analizar el cuadro No. 6 se ve que dentro de los cultivos sobresale el hecho de que más de la mitad de la superficie cultivada de algodón en todo el país se encuentra en la zona; así como el 18.1% y 15.3% de granos básicos y café, respectivamente. Este hecho relacionado con la tasa de crecimiento de población nos lleva a aseverar con cierta razón, que dentro de pocos años las cosechas tendrán que ser

Incrementadas para poder cubrir las demandas de alimentación y divisas; esto implica que se tendrá que usar el agua durante todo el año y no como actualmente se acostumbra (ver cuadro No. 7), donde se ve que una ínfima porción de la superficie explotada es regada; además dicha agua deberá ser adecuada para los cultivos.

En relación al uso del agua, de acuerdo a normas de diseño para proyectos de abastecimientos de agua potable rural, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social estima una dotación de 30 litros/Habs./día que corresponde al abastecimiento con llená-cántaro y a las normas técnicas de ANDA para la población urbana de la zona, la dotación es de 150 litros/habs./día.

Por otro lado, la asignación a las diferentes áreas de cultivos (según la Dirección Riego y Drenaje) es de 1 litro/Ha./día, esto es sin tomar en cuenta la clase de cultivo solo considerando la disponibilidad de agua de los ríos que circulan por la zona.

El cálculo de la cantidad de agua usada en la zona, se muestra en el cuadro No. 8, siendo en total un valor de 4.49 mm anuales, los cuales están distribuidos de la siguiente manera: Agua para consumo humano: 4.13 mm., agua para riego: 0.36 mm.

CAPÍTULO III

HIDROMETEOROLOGIA

III.0 METERELOGIA.

III.1: CLIMATOLOGIA.

El clima es uno de los recursos naturales básicos más importantes de nuestro país, ya que interviene decisivamente en la calidad y magnitud de otros recursos, tales como el agua, la vegetación y todas las actividades económicas del hombre.

III.1.1 CLIMA EN EL SALVADOR.

El Salvador está situado en la parte exterior del cinturón climático de los trópicos, y en toda el territorio las condiciones climáticas guardan cierta proporcionalidad durante las variaciones durante el año.

Las precipitaciones atmosféricas muestran grandes oscilaciones durante el curso del año; aún durante la propia estación lluviosa. La estación seca ocurre durante el semestre invernal (en el hemisferio boreal, entre Noviembre y Abril) y las temperaturas máximas se observan al final, o sea poco antes de la estación lluviosa.

Otra característica de los trópicos exteriores son los ALISIOS, o sea los vientos predominantes alrededor del rumbo NE y el buen desarrollo del sistema de brisa de mar y tierra en las zonas costeras y su vecindad inmediata (en nuestro país, hasta la capital y algo más hacia el Norte); típicos son también los máximos de la actividad lluviosa unas semanas después del paso del sol por el Cenit. Una característica especial del clima de Centro América son los NORTES que transportan masas de aire fresco y originalmente ártico hasta los trópicos, cosa que no se conoce que ocurra en otras partes tropicales de la tierra.

Según observaciones llevadas a cabo por el Servicio Meteorológico en San Salvador durante 50 años, se han podido calcular fechas promedio para principio y final de estaciones tal como lo muestra en el siguiente cuadro:

VARIACION ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION

Epoca del año			Duración	
	Principios	Final	Días	Semanas
Estación seca	14-Nov.	19-Abril	157	22.5
Transición seca lluviosa	20-Abril	20-Mayo	31	4.5
Estación lluviosa	21-Mayo	16-October	149	21.0
Transición lluviosa- seca:	17-October	13-Noviem.	28	4.0
TOTAL :			365	52.1

FUENTE:

Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Recursos Naturales Renovables, Servicio Meteorológico.

Tomando en cuenta la elevación sobre el nivel del mar y las definiciones climáticas de Köppen, Sapper y Lauer, se pueden distinguir las siguientes zonas climáticas en El Salvador: */

— 0 - 800 m., S. N. M.

"Sabanos Tropicales Calurosas" ó "Tierra Calurosa"

En estas zonas las temperaturas máximas se dan poco antes de la estación lluviosa, en las planicies costeras las temperaturas anuales varían entre 27°C y 22°C, en las planicies internas entre 28°C y 22°C.

- 800 - 1200 M. S. N. M.

"Sabanas Tropicales Calurosas" o "Tierra Templada"

En esta zona las temperaturas de todo el año son inferiores a 22°C; en las planicies altas la temperatura media anual oscila entre 22°C y 20°C y en las faldas de las montañas entre 21°C y 19°C.

- 1200 - 2700 M. S. N. M.

"Clima Tropical de las Alturas"

1200 - 1800: Todavía tierra templada sin ser "Tierra Fría" en esta zona en las planicies altas la temperatura media anual varía entre 20°C y 16°C mientras que en las faldas de la montaña entre 19°C y 16°C; en esta zona no hay peligro de heladas.

1800 - 2700: Tierra Fría

En esta zona son características las temperaturas que oscilan entre 16°C y 10°C; en los valles y hondonadas cada año hay escarchas y heladas.

II.1.2. CLIMA EN LA PLANICIE COSTERA PARA-CENTRAL

Con el fin de definir las condiciones climatológicas imperantes en la planicie costera para-central y en vista que no se dispone de la suficiente información para poder definir más ampliamente la climatología de la zona, ésta se ha dividido con el propósito de describir el clima, en dos zonas:

- Zona Sur o Zona Costeras: que está limitada por el Océano Pacífico y la carretera del Litoral, siendo representadas por la estación climatológica de Santa Cruz Parrillo, situada a una elevación promedio sobre el nivel del mar de 30 metros, éstas zona comprende un área de 1537.15 Km².

*/ Almanaque Salvadoreño, Servicio Meteorológico, Ministerio de Agricultura y Ganadería.

- Zona Norte que comprende un área de 1172,85 Km², está situada entre la carretera del Litoral y el Parte aguas en la cadena costera central (véase Mapa No. 1. Esta zona está representada por la estación climatológica de Santiago de María, a una altura de 900 metros sobre el nivel del mar.

El Cuadro No. 9 muestra promedios de temperatura, humedad relativo del aire, nubosidad, luz solar, vientos, precipitación y número de días con lluvia al año, para las Zonas Norte y Sur.

Del análisis del cuadro No. 9 se desprende que, de acuerdo a la temperatura imperante, la zona puede clasificarse al Sur como una "Sábana Tropical Caliente" o simplemente como una "Tierra Caliente", donde la temperatura tiene un promedio anual de 26.7° C y variaciones máximas y mínimas de 34.8° C y 21.2° C respectivamente; y al Norte como una "Sábana Tropical Calurosa" o "Tierra Templada" con un promedio anual de temperatura de 21.9° C y variaciones máximas y mínimas de 28.9° C y 17.6° C respectivamente.

La humedad relativa del aire tiene, al Sur, un promedio anual del 75% y variaciones mínimas y máximas del 63 y 84% en los meses de enero y septiembre respectivamente. Al Norte tiene un promedio anual de 76% y variaciones mínimas y máximas del 67 y 86% en los meses de enero y septiembre respectivamente.

Los vientos existentes son los que prevalecen en todo el territorio nacional: los Alisios, vientos que provienen del Noroeste. En la costa existe una buena relación del sistema de brisa del mar y tierra, con un rumbo dominante hacia el Norte y una velocidad media que varía entre 1.0 m/según en la costa y 1.8 m/según al Norte, considerándose según la escala de Beaufor como vientos "Flojitos".

La nubosidad no tiene marcada variación en la zona, teniendo un promedio anual en la región Sur de 5.5 d.b.c. (décimas de la bóveda celeste) y mínimos y máximos de 2.9 y 7.5 d.b.c. en enero y septiembre respectivamente. Al Norte la nubosidad tiene un promedio anual de 5.8 d.b.c. y mínimo y máximos de 2.8 y 8.3 d.b.c. en enero y septiembre respectivamente.

En cuanto a la duración de la luz solar, al Sur hay un promedio anual de 8.5 horas/día; mínimos y máximos de 5.8 y 10.0 hr/día respectivamente. Al Norte el promedio anual es de 8.2 hr/día y mínimos y máximos de 6.0 y 10.1 hr/día respectivamente.

Desde el punto de vista de su distribución regional, la precipitación está esparcida de acuerdo a la topografía y demás factores climáticos del área.

Las regiones que mejores condiciones ofrecen para la ocurrencia de altas y prolongadas precipitaciones son las montañas en la zona norte, mientras los mínimos se manifiestan adyacentes a la costa tendiendo a aumentar hasta alcanzar las montañas (Ver mapa No. III).

La precipitación intensa se produce en áreas de recarga del acuífero, lo que constituye una ventaja evidente desde el punto de vista de la disponibilidad de agua subterránea en épocas de estiaje.

La precipitación en la época seca puede considerarse prácticamente nula, siendo los meses más lluviosos septiembre y junio, los cuales representan el 20.8% y 18.1% de la precipitación anual y los meses de abril y noviembre los de transición, tal como puede verse en los gráficos 7 y 8 de la variación estacional de la precipitación.

En cuanto a su distribución regional, la precipitación está comprendida entre 1227 y 2304 mm., con un promedio de 1764 mm., para la zona Sur y entre 1443 y 2475 mm., con un promedio anual de 1855 mm., para la zona Norte.

III.1.3. INDICES CLIMATOLOGICOS.

Con el fin de clasificar la Planicie Costera Para-Central en base a las condiciones climáticas imperantes, se ha hecho uso de los índices climatológicos de Martonne y Gasparyn; la importancia de la clasificación de la zona por medio de estos índices radica en que éstos son función de la disponibilidad de agua en la zona.

- Índice de Martonne (Im)

El índice de Martonne viene definido por la siguiente expresión:

$$I_m = \frac{P}{T + 10}$$

donde:

P: Precipitación anual en mm.

T: Temperatura media anual

La clasificación que hace Martonne es la siguiente:

0 - 5 : Desierto

5 - 10 : Estepa desértica con posibilidades de cultivos de regadío

10 - 20 : Zona de transición con escorrentía temporal.

20 - 30 : Escorrentía continua con posibilidades de cultivos sin riego.

30 - 40 : Escorrentía fuerte y continua que permite la existencia de bosques

> 40 : Exceso de escorrentía.

Evaluando:

$$I_m \text{ (Norte)} = \frac{1855}{21.9+10} = 58.13$$

$$I_m \text{ (Sur)} = \frac{1764}{26.7+10} = 48.07$$

La zona Norte representa el 43% del área total y la Zona Sur representa el 57% entonces para el total de la zona tenemos:

$$I_m \text{ (Total)} = 58.13 \times 0.43 + 48.07 \times 0.57 = 52.4$$

En los tres cálculos los resultados han sido mayores que 40, luego según Martonne existe un "Exceso de escorrenfía".

= Índice de Gaspartin (I_g):

Se utiliza como índice de humedad del suelo y viene dada por la expresión:

$$I_g = \frac{P}{50 + T}$$

donde:

P : Precipitación anual en mm.

T : Temperatura media anual en °C

CLASIFICACION :

0.5 : Suelo muy seco

0.5 - 1.0 : Suelo seco

1.0 - 1.5 : Suelo húmedo

1.5 : Suelo muy húmedo

Evaluando :

$$I_g \text{ (Norte)} = \frac{1855}{50 \times 21,9} = 1,69 \text{ (Suelo muy húmedo)}$$

$$I_g \text{ (Sur)} = \frac{1764}{50 \times 26,7} = 1,32 \text{ (Suelo húmedo)}$$

$$I_g \text{ (Total)} = 1,69 \times 1,32 \times 0,57 = 1,48$$

Por lo tanto, según la clasificación de Gasparín, el suelo de la zona pertenece al tipo de "Suelo Húmedo".

Al analizar estos resultados se observa la existencia de suelos húmedos y la abundante escorrentía superficial en la época húmeda de la zona; un resumen de la evaluación de estos índices es el mostrado a continuación:

INDICES CLIMATOLOGICOS

	Zona Sur		Zona Norte		Zona Total (Prom.)	
	Índice	Clasific.	Índice	Clasific.	Índice	Clasific.
Martonne	48,04	Exceso de escorr.	58,13	Exceso de escorr.	52,40	Exceso de escorr.
Gasparín	1,32	Suelo húmedo	1,69	Suelo muy húmedo	1,48	Suelo húmedo

III.2 PRECIPITACIÓN.

Uno de los objetivos del presente seminario, es determinar la disponibilidad de agua en la zona, a fin de poder determinar la explotación que no induzcan reflujos (mar; tierra), evitando así el incremento de la intrusión salina que pondría en peligro algunos costas del país.

La precipitación es la principal fuente de abastecimiento de los estratos subterráneos, es por consiguiente imprescindible investigar su comportamiento en el tiempo y espacio. La precipitación en la zona como en todo el territorio nacional se manifiesta en forma de lluvia y en ínfima proporción como granizo y rocío. En la zona costera para-central la precipitación se ve influenciada por los vientos marítimos del Océano Pacífico que soplan en dirección al continente, lo mismo que por las corrientes de aire húmedo y caliente que ascienden por convección a la atmósfera.

El presente capítulo trata únicamente de la precipitación pluviosa, describiendo métodos y analizando resultados, lo mismo que su ocurrencia y distribución en el tiempo y espacio.

III.2.1 RECOLECCION DE ESTADISTICAS.

Los datos de precipitación utilizados para el cálculo de este parámetro, fueron obtenidos del "Banco de Datos del Servicio Meteorológico Nacional", los cuales han sido recolectados por medio de una red meteorológica distribuida en el territorio nacional.

La mayoría de las estaciones meteorológicas utilizadas en el presente estudio tienen registros de más de 15 años como se puede observar en el gráfico No. 1. El Cuadro No. 10 muestra algunas características de las estaciones meteorológicas tales como su ubicación y clasificación según la información climatológica registrada; la ubicación

de las estaciones se puede ver en los Planos Nos. 3 y 4, obsérvese la buena distribución que éstas presentan en el área lo que constituye una ventaja evidente en cuanto al cálculo de la Precipitación promedio de la zona se refiere.

Los registros de estas estaciones son tabulados en los cuadros No. 11, éstas estadísticas ya han sido verificadas y rellenas por métodos que se describen posteriormente, el período de estudio que ha sido seleccionado tomando en cuenta que la estadística de escorrentía es escasa y difícilmente se podría generar información para un período mayor de 10 años, comprendido entre los años Hidrológicos (1961 - 1976).

III.2.2 VERIFICACIÓN Y RELLENO DE ESTADÍSTICAS.

En una estación meteorológica en la medición de la Precipitación se cometen errores instrumentales, sistemáticos, accidentales, etc., los cuales según sean de mayor o menor gravedad determinan la veracidad de un registro. Con el propósito de comprobar la bondad de las estadísticas proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional se ha utilizado el Método de la Curva Doble Máfica como método de comparación y para el relleno de la estadística faltante o no consistente se ha utilizado el método de la Media Ponderada.

A - ANÁLISIS DE LA CURVA DOBLE MASICA.

Este método se ha seleccionado para la comprobación de la bondad de la estadística de la Precipitación, partiendo del criterio de que en el área estudiada las características orográficas entre estaciones son semejantes de tal forma que debe existir consistencia en la estadística obtenida entre estaciones cercanas. Este método es práctico para el análisis de resultados ya que consiste en la identificación Gráfica de inconsistencias en el registro de una estación por comparación de su tendencia

con otras estaciones; el desarrollo del método consiste en llevar a un gráfico los valores anuales acumulados de una estación contra los valores de otra, empezando por los datos más reciente, partiendo de la premisa de que los datos más recientes están sujetos a menos error, tal como lo muestra la gráfica No. 2, 3 y 4. Del análisis de estas gráficas se observó que las estaciones que mejor consistencia presentan son Santo Cruz Porrillo, Zacatecoluca y Usulután, los cuales con el fin de rellenar la estadística faltante e inconsistente de las demás estaciones, lo mismo que para describir la precipitación en el tiempo, se han utilizado como estaciones pluviométricas base.

B - MEDIA PONDERADA.

Conociendo la confiabilidad de la estadística de las estaciones pluviométricas base se ha utilizado el Método de la Media Ponderada para el relleno de la estadística faltante e inconsistente; dicho método se expresa en la forma siguiente:

$$P_f = \frac{1}{3} \cdot \frac{ND}{NA} \cdot PA + \frac{ND}{NB} \cdot PB + \frac{ND}{NC} \cdot PC$$

En donde:

P_f : PRECIPITACION A CALCULAR

ND: Precipitación media mensual ó anual del período

NA, NB, NC : Precipitación media mensual ó anual de cada estación base

PA, PB, PC : Precipitación de las estaciones bases correspondientes al mes ó año a rellenar.

Una vez rellenada la estadística, verifico por el método de la Doble Música comprobándose la consistencia de datos entre estaciones y el relleno tal como lo muestran las gráficas No. 5 y 6.

III.2.2 PRECIPITACION MEDIA ANUAL DE LA ZONA.

Con el fin de establecer la disponibilidad de agua existente en la zona es necesario cuantificar cada uno de los parámetros hidrológicos que intervienen en el balance, referentes a una unidad de tiempo común.

Para cuantificar la lámina media anual de precipitación de la zona se han utilizado los datos de las cuédras No. 11 correspondientes a la precipitación media anual del período de cada una de las estaciones; tomando en cuenta la amplitud de la zona de estudio y la variedad de aspectos orográficos existentes; se han utilizado los métodos de los Polígonos Thiessen e Isoyetas para analizar mejor los resultados.

A - POLIGONOS DE THIESSEN:

Este método se basa en el principio de que una estación es representativa del comportamiento en un área determinada y por consiguiente la Precipitación medida en esa estación es proporcional al área del polígono que ella representa. Partiendo de este principio se trazó sobre un mapa las rectas que unen las estaciones inmediatas con triangulación, luego se trazaron mediatrices de éstos segmentos rectilíneos, los cuales forman polígonos rodeando cada uno de ellos a una estación, tal como lo muestra el Plano No. 3. Se tomó el área del polígono como representativo del área que corresponde a cada estación.

Para calcular la precipitación media se toma la suma de los productos del área correspondiente a cada estación y su precipitación y se dividió por el área total de la zona. En torno del borde de la zona sólo se hace uso de la porción del polígono situado en el interior de la zona. Todo esto se expresa en la fórmula siguiente:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{AT}$$

En donde:

\bar{P} : Precipitación media de la zona

A_i : Área de un polígono i

P_i : Precipitación anual de la estación correspondiente al polígono de área A_i

AT : Área total de la zona = $\sum_{i=1}^n A_i$

Los áreas y precipitaciones de las estaciones correspondientes a cada polígono se pueden ver en el Cuadro No. 12, el cual muestra también el cálculo de la precipitación media anual del período, obteniéndose como resultado una lámina promedio anual (de 1799,7 mm).

5 - MÉTODOS DE ISOYETAS

Este método consiste en trazar sobre un mapa, curvas de igual precipitación (ver plano No. 4), basado en el principio de que la precipitación de una zona se distribuye más o menos uniformemente. Para el cálculo de la precipitación media anual de la zona se integran las superficies correspondientes entre 2 isoyetas consecutivas multiplicadas por la precipitación media entre curvas y dividida entre el área total, obteniéndose así el valor de la precipitación media, tal como se muestra en la siguiente expresión:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{AT}$$

En donde:

\bar{P} : Precipitación media anual.

A_i : Área entre 2 isoyetas consecutivas.

P_i : Precipitación promedio de las 2 isoyetas limítrofes del área A_i .

A_T : Superficie total o la sumatoria de las áreas parciales. El cuadro No. 13 muestra en base a este método el cálculo de la precipitación media de la cuenca, así como el resultado correspondiente el cual es de 1747.7 mm.

C - ANALISIS DE RESULTADOS.

Al evaluar la precipitación media anual del período de la zona, por medio de los métodos de Thiessen e Isoyetas se han obtenido los resultados de 1799.9 mm. y 1747.7 mm. respectivamente; al efectuar la media de estos dos valores se obtienen 1773.8 mm. que en definitiva corresponde al valor medio obtenido de la evaluación de la precipitación anual de la zona; lo que representa la única cantidad de agua en concepto de abastecimiento de la zona.

Al comparar este resultado con la precipitación media anual de cada estación (cuadro No. 11) se observa la similitud de este resultado con el promedio anual del período correspondiente a la estación climatológica de Santa Cruz Porrillo (1764 mm.) lo que confirma el hecho de tomar esta estación como base en la zona.

III.2.4 VARIACION ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION.

Para demostrar la variación estacional de la precipitación durante el año en la planicie costera por a-central, se han desarrollado modelos para las estaciones meteorológicas de Santa Cruz Porrillo y Santiago de María representando las zonas Sur y Norte respectivamente, utilizando los promedios mensuales del período.

Las gráficas de la Distribución Varacional de la precipitación se ha constituido, graficando la desviación mensual acumulada con respecto al promedio mensual del período tal como se presentan en las Gráficas Nos. 7 y 8 en los que se observa que la variación mensual de la Precipitación no solamente se produce en el año, sino dentro de la misma estación lluviosa, pudiéndose observar láminas altas en junio, decreciendo en julio y agosto, produciéndose en septiembre los valores máximos para luego volver a decrecer. El gráfico No. 7 muestra para la zona Norte un promedio mensual de precipitación para el período 1961-75 de 154.55 mm., la precipitación mensual promedio en la época seca es de 21.8 mm., la lámina de precipitación mensual promedio en la época húmeda es de 287.3 mm.

La variación de la precipitación en la zona sur está representada en el gráfico No.8, el cual muestra un promedio mensual del período (1961-75) de 147 mm., una precipitación promedio mensual en la época seca de 19.3 mm. y 274.8 mm. en la época húmeda. En el capítulo anterior se dijo que las condiciones climáticas imperantes en el país se mantienen casi similares; en el caso de la precipitación y con el fin de comparar resultados se ha elaborado el siguiente cuadro, en base a las gráficas No.7 y 8 pudiéndose observar que los resultados obtenidos son compatibles con los proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional.

VARIACION ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION

Período	Inicio	Final
Estación seca	Noviembre	Abril
Transición Seca-Lluviosa	Abril	Mayo
Estación Lluviosa	Mayo	Octubre
Transic. Lluviosa-Seca	Octubre	Noviembre

III.2.5 VARIACION ANUAL DE LA PRECIPITACION

El comportamiento cíclico que la precipitación presenta en el tiempo guarda estrecha relación con la disponibilidad de agua subterránea, ya que un período húmedo implicaría suficiente disponibilidad de agua subterránea en la cuenca; en caso contrario implicaría un descenso considerable del nivel freático provocado por la no recarga del acuífero; con el objeto de definir los distintos períodos por los que pasa la precipitación en el transcurso del tiempo, se ha desarrollado un modelo para la estación pluviométrica de Usulután (ver gráfica No. 9) Modelo que será representativo de la zona, por ser esta estación la única en tener un período de información lo suficientemente largo para que se definan los distintos períodos. El modelo ha sido desarrollado graficando la desviación acumulada de la precipitación anual con respecto al promedio anual del período, el modelo comprende un período de 46 años entre los años hidrológicos de 1928-1974, siendo el promedio anual de los datos observados en el período de 1919.4 mm. El ciclo completo tiene una duración de 34 años, con períodos húmedo y seco de 11 años, y transiciones de 6 años. El cuadro siguiente muestra los años de inicio y finalización de estas épocas.

VARIACION CICLICA DE LA PRECIPITACION			
Período	Inic.año	Final año	Duración meses
Seco	1937	1948	11
Trans. seco húmedo	1948	1954	6
Húmedo	1954	1965	11
Trans. húmedo seca	1965	1971	6

III.3 EVAPOTRANSPIRACION

Para evaluar la disponibilidad de agua en la zona, es de imperante necesidad cuantificar la evapotranspiración, por cuanto representa un alto porcentaje de las pérdidas totales en una cuenca o zona.

La evapotranspiración es la pérdida de agua provocada por la evaporación de los suelos húmedos y las superficies libres de agua, lo mismo que por la transpiración de la vegetación.

La evapotranspiración se ve afectada por una serie de factores:

- 1 - Climatológicos.
 - a- Precipitación
 - b- Temperatura
 - c- Humedad relativa
 - d- Nubosidad
 - e- Viento etc.
- 2 - Características de los suelos y disponibilidad de agua.
 - a- Profundidad y fluctuación del nivel freático
 - b- Capacidad de retención de agua de los suelos
- 3 - Características foliares y duración del período de crecimiento de las plantas.

Si existen deficiencias de agua, la evapotranspiración se ve reducida, por lo que es necesario diferenciar la evapotranspiración máxima posible o "Potencial", y la que realmente ocurre, llamada evapotranspiración real o "Uso consuntivo". */

*/ El cálculo del Uso Consuntivo y el Uso Consuntivo en El Salvador, R. Jovel y H. Martínez. Boletín Técnico No. 1, Mayo 1974. Dirección de Grandes Obras de Riego - Ministerio de Agricultura.

III.3.1 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL.

"La evapotranspiración potencial, es el valor máximo que se produciría si no existieran deficiencias de agua en los suelos de la zona para que el fenómeno se desarrollara en toda su intensidad"; debido a la extensión de la zona y en vista que la evapotranspiración es función de los parámetros climatológicos, para la evaluación de este Parámetro se guiará usando el criterio de Zona Norte y Zona Sur definidos en el artículo referente a la climatología.

También la evapotranspiración es función de la disponibilidad de agua en los suelos; por tal razón para la época lluviosa, cuando prácticamente no existen deficiencias de agua, se evalúa en base a la ecuación de Blaney And Criddle que define la evapotranspiración potencial en términos de temperatura y el porcentaje de horas de luz solar en el año; dicha ecuación, para el sistema métrico, se expresa de la forma siguiente:

$$\text{Ev. pot.} = (8.1 + 0.46 T) H$$

En donde:

Ev. pot: factor mensual de consumo en mm.

T : Temperatura media mensual en C.

H : Porcentaje mensual de horas luz solar en el año

Este método ha sido seleccionado ya que se adopta a las condiciones actuales referentes a disponibilidad de información y sacar el mayor provecho de ella; aparte de su sencillez y confiabilidad para estudios como el actual.

En la época seca, la única disponibilidad de agua es la humedad del suelo y la precipitación del suelo y la precipitación caída en esta época; por tal razón para la evaluación de la evapotranspiración potencial en la época seca se ha utilizado la expresión siguiente:

$$\text{Ev. Pot} = \text{Precipitación total de la época seca} + \text{humedad del suelo}$$

La precipitación total de la época seca utilizada en la anterior ecuación es la calculada mediante el diagrama de variación anual de la precipitación para las estaciones meteorológicas de Santiago de María como la representativa de la Zona Norte y Santa Cruz Porrillo de la Zona Sur; obteniéndose valores de 130.8 mm. y 115.8 mm. respectivamente. (Gráficos No. 7 y 8).

En lo referente a la humedad disponible del suelo, ésta viene dada por el Índice de Gasparín según se muestra en el cuadro a continuación.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO Y SU ESTADO		
Índice	Estado	Contenido de Humedad del suelo en mm.
0.5	Muy seco	0 - 50
0.5 - 1	Seco	50 - 100
1 - 1.5	Húmedo	100 - 200
1.5	Muy Húmedo	200 - 250

Según se calculó en el capítulo de climatología, para la Zona Norte el índice de Gasparín muestra un estado "muy húmedo" al cual le corresponde un contenido de humedad de 225 mm. y para la Zona Sur un estado "húmedo", correspondiéndole un contenido de humedad de 139 mm.; luego la evapotranspiración potencial en la época seca es el contenido de humedad del suelo más la precipitación total caída en la época seca.

A continuación se presentan ejemplos de cálculo tanto para la época lluviosa como seca.

Zona Norte

Epoca Lluviosa (mayo)

$$\text{Ev. pot} = (8.1 + 0.46 T) H$$

$$T = 22.6^{\circ} \text{C. (Ver Cuadro No. 14)}$$

$$H = 6.7 \text{ (Ver Cuadro No. 14)}$$

Sustituyendo tenemos:

$$\text{Ev. pot} = (8.1 + 0.46 \times 22.6) 6.7$$

$$\text{Ev. pot} = 123.92 \text{ mm.}$$

Epoca seca

$$\text{Ev. pot} = \text{Humedad del suelo} + \text{Precipitación total época seca.}$$

$$= 225 \text{ mm.} + 130.8 \text{ mm}$$

$$= 355.8 \text{ mm.}$$

Zona Sur

Epoca Lluviosa (mayo)

$$\text{Ev. pot} = (8.1 + 0.46 T) H.$$

$$T = 28.0$$

$$H = 8.2$$

Sustituyendo tenemos:

$$\text{Ev. pot} = (8.1 + 0.46 \times 28.0) 8.2$$

$$\text{Ev. pot} = 172.04 \text{ mm.}$$

Epoca Seca

$$\text{Ev. pot} = \text{Humedad del suelo} + \text{Precip. total época seca.}$$

$$= 139 \text{ mm.} + 115.8$$

$$\text{Ev. pot} = 254.8 \text{ mm.}$$

El cuadro E2 contiene los valores de evapotranspiración calculados para las épocas húmeda y seca; pudiéndose observar que julio es el mes de mayores pérdidas en concepto de evapotranspiración pues prácticamente no existen deficiencias.

III.3.2 EVAPOTRANSPIRACION REAL

"La evapotranspiración real o uso consuntivo es la cantidad de agua que requiere la planta para la formación de los tejidos y abastecer los Procesos de Transpiración, sumada a la que se evapora de la superficie del suelo " y se expresa de la forma siguiente:

$$\text{Ev. real} = \text{Ev. pot} \times K$$

En donde K es un "Coeficiente de consumo propio de cada cultivo" los cuales para utilizarlos en la zona han sido adoptados de varias publicaciones existentes ^{*/} después de haberse comprobado aceptabilidad en estudios similares. El cuadro E-3 muestra los coeficientes de consumo adaptados en este estudio.

Cálculo del Coeficiente de Consumo Ponderado (K_p).

En vista a la variedad de cultivos y las diferentes áreas que éstos representan en la planicie, se ha calculado un coeficiente ponderado para cada zona utilizando la siguiente expresión:

$$K_p = \frac{A_1 K_1 + A_2 K_2 + \dots + A_n K_n}{AT} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i K_i}{A_r}$$

Donde

K_p = Coeficiente de consumo ponderado

A = Área correspondiente a cada cultivo.

^{*/} Jovel, Roberto 1968 el cálculo de los requerimientos de agua para la irrigación en Costa Rica. Publicación No. 39 Proyectos Hidrometeorológico Centroamericano, San José de Costa Rica.

K_i = Coeficiente de consumo correspondiente a cada cultivo

A_t = Area total de la Zona

El cuadro No. 15 muestra las áreas ocupadas por los distintos cultivos, lo mismo que los coeficientes de consumo de cada uno de éstos. También muestra los cálculos de los coeficientes ponderados para cada una de las zonas, de las que se obtiene el valor de 0.80 para la zona norte y 0.79 para la zona sur.

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION REAL

- Epoca Lluviosa:

En vista que durante el período mayo-octubre, ambos meses inclusive, no existen deficiencias de agua para el consumo, la Ev. real se calculó como el producto del coeficiente ponderado de consumo, por el factor de consumo obtenido con base en los datos climatológicos (Ev.Pot), obteniéndose valores de 583.2 mm. y 703.04 mm. para la Zona Norte y Sur respectivamente (Vea cuadro E-2).

- Epoca Seca

La Ev. Real durante el período noviembre-abril inclusive está limitado a aquella cantidad que los cultivos pueden extraer de los suelos, más las escasas lluvias que ocurren en esta época, siendo estos valores de 355.8 mm. y 254.8 mm. para la Zona Norte y Sur respectivamente. (Vea cuadro No.16).

III.3.3 EVAPOTRANSPIRACION REAL ANUAL DE LA ZONA.

Sumando los valores de Ev. real calculado para la época lluviosa y seca, se ha podido calcular la Ev. Real Anual obteniéndose valores de 939.0 mm. y 957.84 para las zonas norte y sur respectivamente; con estos valores calculados y conociendo

que la Zona Norte representa el 47% del total de la Zona Sur el 53% del total, se ha calculado la Ev. real anual de la zona, cuyo valor correspondiente es de 949.74 mm.

A continuación se presentan ejemplos de cálculos de Ev. Real en las épocas lluviosas y húmeda y el cálculo de la Ev. Real Anual de la Zona.

Zona Norte

Epoca Lluviosa (mayo)

$$\begin{aligned} \text{Ev. Real} &= 123.92 \times 0.80 \\ &= 99.14 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Epoca Seca

$$\text{Ev. Real} = 355.8 \text{ mm.}$$

Conociendo que el área de la Zona Norte es el 43% del área total y el área de la Zona Sur el 57% tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Ev. Real Anual} &= \text{Ev. Real (Z. N.)} \times 0.43 + \text{Ev. Real (Z.5)} \times 0.57 \\ &= 939.0 \times 0.43 + 957.84 \times 0.57 \end{aligned}$$

$$\text{Ev. Real Anual} = 949.74 \text{ mm.}$$

Los demás resultados están tabulados en el Cuadro No. 16; también en esta tabla se puede observar el valor de la evapotranspiración real total por Zona.

III.4 HIDROLOGIA

III.4.1 DRENAJE.

La escorrentía superficial es producida por la precipitación caída en la zona, los ríos se forman recogiendo el agua de quebrada distribuido en forma "radial", y de aquí la dosificación de drenaje "radial". Entre el pié de montaña y la carretera del Litoral tenemos ríos cuya característica principal es la de recubrir los afluentes don ángulos de 45 grados y de aquí la clasificación de drenaje "dendrítico". A medida que el agua desciende, atraviesa la planicie costera en forma "subparalela"; algunos, los menos caudalosos, son absorbidos al llegar a la planicie, otros, como El Lempa, Jiboa, etc. los cuales tienen áreas de recarga mayores, descargan directamente al mar.

En la época lluviosa, estos ríos que prácticamente son jóvenes (con excepción del Lempa y Jiboa) y no tienen cauces bien definidos, se desbordan antes de llegar al mar, produciendo inundaciones debido al mal drenaje dque presenta la topografía al sur de la zona.

Parte de la precipitación caída, se infiltra a través de medios porosos viajando por el subsuelo a causa del gradiente hidráulico y la permeabilidad del suelo hasta buscar la descarga al Sur, en el mar.

III.4.2 CONTRIBUCION SUBTERRÁNEA A LOS RIOS.

En la época seca, los mantos acuíferos alimentan los ríos que corren sobre su área de recorrido. Parte del agua subterránea alimenta a los ríos, puesto que los afloramientos existentes en las montañas son de bajo caudal y apenas alcanzan a suplir las necesidades domésticas.

En algunos lugares de la planicie, se observan ciertos lechos constituidos por materiales aluviales que se disgregan con facilidad por la influencia de la corriente y que son transportados por el agua a niveles inferiores; este efecto trae como consecuencia la erosión del fondo, hasta alcanzar la tabla de agua, formando riachuelos de carácter perenne, cuyos caudales varían a través de las estaciones climáticas anuales de acuerdo a las fluctuaciones de la precipitación (como el Chahuantique y El Quebracho en las vecindades del Puerto El Triunfo).

En el Gráfico No. 9 se puede observar la contribución subterránea a los ríos por medio de la curva de recesión.

La sumatoria de todos los volúmenes descargados por los ríos desde Noviembre hasta Abril inclusive es de 102.32×10^6 metros cúbicos (tomados del Cuadro No. 21) que representa 38 milímetros caídos en la zona y que vienen a ser la contribución subterránea a los ríos.

III.4.3 ESCORRENTIA SUPERFICIAL.

El cálculo de la escorrentía se basa primordialmente en los datos estadísticos de caudales mensuales de los principales ríos de la zona, obtenidos de los registros que para tal efecto lleva a cabo el Servicio Hidrológico, por medio de las estaciones limnigráficas y limnimétricas dispersas a lo largo de la zona. El mapa No. 1 muestra la distribución de los ríos en la zona.

Se escogió un período de estudio de 15 años, tomando en cuenta que únicamente dos ríos de la zona (El Lempa y El Jiboa, ver cuadro No. 17) poseen información suficiente como para poder generar por métodos que posteriormente se describirán, los datos faltantes en los demás ríos. El período comprende los años hidrológicos de 1961 a 1975.

A - RELLENO DE ESTADISTICA

El relleno efectuado en la época húmeda se realizó considerando que la escorrentía de un río es proporcional al área de la respectiva cuenca y a la precipitación que sobre ella cae. Esta proporcionalidad se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{Q1}{A1} = \frac{Q2}{A2} \quad y \quad \frac{P1}{A1} = \frac{P2}{A2}$$

de tal forma que:

$$\frac{P1 \cdot Q1}{A1} = \frac{P2 \cdot Q2}{A2}$$

luego

$$Q2 = \frac{P1 \cdot A2}{P2 \cdot A1} \times Q1$$

Lo que significa que teniendo los datos de caudal, precipitación y área de una cuenca tomada como base (Q1, P1, A1,) se puede generar los datos de caudales (Q2) de las cuencas adyacentes que poseen datos de precipitación y área (P2, A2).

Caso presente se tiene como base la información de los ríos Jiboa y Lempa (Ver cuadro No. 18).

Epoca lluviosa. Mes de Junio

Río base: Jiboa

$$Q1 = 5.87 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$A1 = 413.9 \text{ Km}^2 \text{ (de cuadro No. 17)}$$

$$P1 = 283.4 \text{ mm. (de cuadro No. 11)}$$

Río a rellenar: Comapa

$$Q2 = ?$$

$$A2 = 51.6 \text{ Km}^2 \text{ (de cuadro No. 17)}$$

$$P2 = 330.4 \text{ mm (de cuadro No. 11)}$$

$$\text{Sustituyendo en } Q2 = \frac{P1}{P2} \frac{A2}{A1} \times Q1$$

$$\text{Se tiene } Q2 = \frac{283.4 \times 51.6}{330.4 \times 413.9} \times 5.87$$

$$Q2 = 0.63 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Para la época seca no se puede aplicar la misma relación por la escasa disponibilidad de precipitación en la zona, siendo por lo tanto necesario utilizar otra metodología basada en el concepto de la curva de recesión. Esta curva es la parte descendente de un hidrograma de escorrentía total de un río, y representa el comportamiento del río en la época seca, seleccionando períodos durante los cuales la lluvia es casi nula, (Noviembre-Abril) los caudales observados son ploteados en una gráfica semilogarítmica en función del tiempo, teniendo como origen el punto de inflexión del hidrograma de escorrentía total; de tal manera se han construido las curvas de recesión promedio del período para los ríos Lempa y Jiboa tal como se muestra en la gráfica No. 9a con el propósito de rellenar la información faltante de estos ríos y poder generar la estadística de los ríos con períodos cortos de registro. El cuadro No. 18 muestra los caudales promedio mensuales del período; esta estadística ya ha sido rellenada y ajustada utilizando los métodos antes descritos tal como el ejemplo mostrado a continuación:

Epoca seca

Ecuación de recesión Río Comapa

$$Q_t = 0.101 e^{-10.69 \times 10^{-3} t} \quad (\text{de cuadro No. 19})$$

Sustituyendo para el mes de Febrero

$$Q_t = 0.101 e^{-10.69 \times 10^{-3} \times 106}$$

$$Q_t = 0.03 \text{ m}^3/\text{seg}$$

En la gráfica No. 10 el valor de " q " es la distancia entre la prolongación de la sección recta y el punto de la curva que se quiere determinar (punto 1 por ejemplo). El cálculo del caudal medio mensual en la época seca se hace planteando la curva en un papel semilogarítmico que permite con facilidad definir una parte recta y una curva.

Una vez definida la gráfica se toma un punto cualquier de la parte recta (punto 2 por ejemplo) y tendremos conocidas las cantidades Q_{t2} , t_2 , e y Q_0 (Que es la intercepción del eje de las "Y" con la prolongación de la parte recta), de donde:

$$Q_{t2} = Q_0 \times e^{-t\alpha}$$

$$\log Q_{t2} = \log Q_0 + (\log e) \times (-\alpha t)$$

$$\frac{\log Q_{t2} - \log Q_0}{\log e} = -\alpha t$$

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_{t2}}{t \times \log e}$$

$$\alpha = \frac{\ln Q_0 - \ln Q_{t2}}{t}$$

El valor de " α " permite calcular el volumen que está fluyendo del acuífero al final de la estación seca, en base a la fórmula (2).

$$V_d = Q_0 / \alpha t \quad (2)$$

$$V_f = Q_0 / (1 - \alpha t)$$

y además al definir la ecuación de la curva de recesión de un río permite hacer predicciones más o menos confiables de los caudales de dichos ríos.

El conocimiento del rendimiento hídrico superficial determina la disponibilidad de agua superficial en las áreas de interés, y el conocimiento de la riqueza relativa de las cuencas y subcuencas.

El cálculo de los valores correspondientes a la época seca presenta mayor exactitud que los de la época húmeda. La cuantificación exacta de los rendimientos hídricos al nivel requerido por el proyecto, se deberá encarar mediante el muestreo sistemático realizado en todos los ríos principales y afluentes, con el fin de tener la base suficiente para hacer las correlaciones necesarias.

B - LAMINA ANUAL ESCURRIDA

Con el fin de cuantificar la lámina anual en concepto de escorrentía superficial, se ha preparado el cuadro No. 20 y 21, los cuales muestran el volumen escurrido mensualmente por cada uno de los ríos y la lámina promedio mensual.

El caudal promedio anual de toda la zona de estudio es de 63.8 m³/seg., y este dato es obtenido de los cuadros No. 18, 20 y 21.

Para obtener la escorrentía total de la zona, hacemos la siguiente operación:

$$\frac{63.8 \times 10^3 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365}{2710 \times 10^6} = 742.43 \text{ mm}$$

El caudal promedio anual del complemento de área (1429.5 Km²) no considerado en las cuencas de los ríos es de 11.41 m³/seg.

En los cuadros Nos. 18, 20 y 21 el asterisco significa que estos ríos (Lempa y Jiboa) tienen datos para toda la cuenca de cada uno; el paréntesis significa que los datos encerrados en ellos son datos que en este río (Jalponga) fueron tomados en otra estación aguas arriba de la que sí fue considerada.

CAPITULO IV

IV.1 GEOLOGIA.

Geología General (Zona entre cuenca del Río Jiboa-Lempa)

Geológicamente la región comprende cuatro etapas de formación, incluyendo una eminentemente joven, aún en actividad de formación.

La fuente principal la constituye el Volcán de San Vicente de donde han proveni-
do las corrientes de lavas y piroclásticos que en su mayoría cubren el sector (Ver
Plano No. 6).

Se comenzará la descripción de las diferentes unidades existentes partiendo de las
más antiguas a las más recientes, así:

Materiales del plioceno que cubren aproximadamente el 20% del área caracteriza-
dos por corrientes de lavas basálticas y andesíticas antiguas y aglomeradas.

En el sector Oriental, en su extremo inferior, éstos se han relegado a meros aflora-
mientos dispersos en forma de pequeñas colinas donde los ligamientos entre unas y
otras unidades han sido recubiertas por materiales de edad posterior. Donde se pue-
de apreciar mejor los afloramientos es el noreste con los cerros Campana y Sihuate-
peque.

De edad intermediaria (plio-pleistocénica) se pueden clasificar, la antigua calde-
ra que recubierta por tobas de edad más reciente y compuesta de lavas antiguas de
carácter andesítico, que se encuentra en el sector Noroccidental, contiguo al vol-
cán de San Vicente, en la misma zona, un poco más al sur se encuentra una prominen-
cia la cual está constituida por tobas fundidas o ignimbrita que sobreyace sobre una
formación más antigua.

Dentro del pleistoceno, al lado este de la caldera, existe una cúpula de lava andesítica cuyas proximidades son tobas compuestas por productos dacíticos provenientes del Lago de Ilopango; estos productos recubren gran parte del volcán y sus alrededores y especialmente el lado Occidental.

Abarcando el 7% de las distintas formaciones, existe un sombrero de lavas que bajan desde la cima del volcán, constituyendo una serie de corrientes superpuestas que han presentado poco corrimiento, debido muy probablemente a su bajo grado de viscosidad. De acuerdo a Meyer-Abich, la composición de esta lava, como la mayoría de las que componen el volcán, es uniforme y consiste en un andesita piroxénica, perfídica y pilotaxídica.

Al Norte del volcán y sobre el escalón de la falla que delimita la fosa central, se ha producido una actividad posterior, generándose una serie de conos y cúpulas de lava al igual que pit-cráteres, entre los que se incluyen las lagunas de Apastepeque y la Ciega; los cerros de Las Delicias, Santa Rita, Grande y otros.

Las formaciones más extensas y de edad más joven están constituidas por tobas (30% del área), comprendiendo además piroclásticos y pómez y los productos aluviales (30%) generados como consecuencia del retrabamiento sufrido por los anteriores materiales, influenciados además por los depósitos fluviales de las incursiones de los ríos Jiboa y Lempa.

Finalmente en las proximidades del océano y constituida por los materiales de más reciente formación, cubriendo un 10% del área, se encuentra la zona de esteros y manglares en cuya formación ha habido participación del mar.

Al realizar un corte podemos apreciar una sucesión normal de capas cuyo espesor y depositación varían de lugar en lugar y se podría apreciar de arriba hacia abajo la siguiente formación: ceniza dacíticas y pómez, con un espesor de 10 metros, tobas color café, con un espesor de 30 metros; lavas jóvenes y basamento compuesto por aglomerados y lavas andesíticas y basálticas antiguas. Por lo general en la planicie costera, sobre las tobas y las cenizas dacíticas, se hallan los aluviones y depósitos pluviátiles, cuyo espesor aumenta con la proximidad del mar.

IV.1.1 TECTONICO.

Entre las fallas principales están las del Río Jiboa que delimitan el escarpe del plioceno al Norte de la región y, como se hace mención anteriormente, forma parte del borde de la fosa central, y la cual constituyen el límite de la caldera; la del Río Acahuapa, y las que seccionan al cerro Sihuatepeque; todas las demás solo conservan un carácter probable o son de menor importancia y junto con las anteriores se entrecruzan y desplazan en la región septentrional.

Los principales sistemas de fallas están orientados en las siguientes direcciones:

W.N.W. - E.S.E., E-W; N-S; NW-SE y N.N.W. - S.S.E.

IV.1.2 GEOLOGIA HISTORICA.

Para poder establecer un orden de los distintos eventos que han tenido como meta producir las condiciones geológicas que actualmente imperan en la zona de estudio, se tiene que recurrir a la formación de la fosa central que con el fracturamiento de orientación WNW-E.S.E., ocurrido en terrenos del plioceno a lo largo de una faja que atravieza la parte central del país, se obtuvo como consecuencia la formación de la cadena joven de volcanes entre las que se incluye el volcán de San Vicente.

Es de pensar que estos volcanes no brotaron inmediatamente, sino que hubo etapas volcánicas iniciales de edad más antigua, de la cual es un resto la caldera localizada al Oeste del referido volcán.

Los productos de uno y otro recubrieron en gran parte las prominencias pliocénicas dejándolas ocultas en un gran sector.

De la zona de debilidad creada por el fallamiento circular de la caldera, surgió una cúpula de lava de tipo andesítico y muy posteriormente un pequeño cráter volcánico llamado San Antonio, la Laguneta, la mayoría de los materiales fragmentados, eyectados por el volcán de San Vicente, recubrieron una extensa área del sector Sur, depositando tobas y piroclásticos. Es muy probable que así como las lavas y otros productos del volcán de San Vicente, recubrieron los materiales del plioceno, pudieron haber tapado parte de la ya mencionada caldera. Las erupciones posteriores del área del Lago de Ilopango, vinieron a rellenar una gran parte del terreno.

Contemporánea a estas eyecciones se produjo una actividad volcánica especial que generó una profusa cantidad de domos, conos de escorias y pit-cráteres, cuyo proceso de formación sigue siendo un problema geológico.

Tomando en cuenta la pendiente de los materiales, la influencia de las aguas superficiales ha participado con su acción erosiva, desgastándolas para depositar su carga más tarde en las partes bajas y planas constitutivas de la actual planicie costera. Con el concurso de los ríos y las corrientes marinas, gran cantidad de depósitos se han venido acumulando hasta formar lo que ahora son los esteros o el equivalente a una verdadera costa en formación.

Ríos tales como El Lempa y Jiboa, a la par de la influencia de la pendiente, han incursionado en distintas épocas los aluviones depositando dispersamente su cargamento fluvial.

IV.1.3 GEOLOGIA GENERAL. (ENTRE CUENCA DEL RIO LEMPA Y GRANDE DE SAN MIGUEL)

La geología de la región está descrita en forma preliminar, como un resumen generalizado que muestra que la mayoría de las rocas comprendidas dentro del área son volcánicas. La naturaleza y ocurrencia de las formaciones rocosas que se describen en esta sección están basadas en gran parte en reconocimientos iniciales practicados tanto por la FAO como por informes presentados por el geólogo Jorge Eduardo Delgado. De tales investigaciones se ha preparado un mapa Geológico tal como se muestra en el Plano No. 6.

IV.1.4 HIDROGEOLOGIA DE LAS ROCAS.

Partiendo de las propiedades hidrológicas, las rocas pertenecientes al área han sido divididas en dos grupos generales:

Las consolidadas, que son rocas relativamente impermeables, ó con permeabilidad secundaria, afloran en las montañas del Plioceno o de encuentran como Basamento o Roca Madre debajo de los materiales depositados en la planicie. En ellas no existe permeabilidad o porosidad de importancia, a menos que se haya desarrollado una permeabilidad secundaria a lo largo de juntas de planos, divisiones, fracturas ó fallas, o en zonas intemperizadas de poca profundidad. Estas rocas proporcionarán muy poca agua a pozos o manantiales. No existe una capa de agua freática propiamente dicha, solamente "lentes" de agua en las fisuras. Cuando se encuentran en el subsuelo, pueden considerarse como Roca Madre, no saturadas, extremadamente difíciles de penetrar con el barreno y no merecedoras de exploración.

Las no-consolidadas, son generalmente rocas sedimentarias recientes que debido a su porosidad presentan capacidad para transmitir el agua; comúnmente están superpuestas a las rocas de basamento. En ellas el nivel freático se manifiesta en forma suave y continua, cuyo gradiente depende de la recarga y de las diferencias litológicas inherentes de los materiales. Son estas rocas las que constituyen el factor básico del presente estudio.

La naturaleza y distribución de estas rocas depende del ambiente geológico, de las características físico-químicas de los materiales y del área geográfica.

4.1.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS ENCONTRADAS EN EL AREA DE ESTUDIO.

Tomando como base las características petrográficas de las rocas encontradas, puede hacerse la clasificación siguiente:

Piroclásticos.

En un gran porcentaje, las rocas que se encuentran expuestas son piroclásticas geológicamente jóvenes. Es decir, materiales fragmentados (polvo, cenizas y lapillis) arrojados violentamente al aire por cráteres o respiraderos volcánicos cercanos. Estos materiales han sido lanzados en el pasado durante erupciones catastróficas sucesivas. Los piroclásticos han sido llevados por el aire hasta distancias considerables y se han asentado en la tierra cubriendo el paisaje como un depósito en la forma de una colcha. Se han convertido en depósitos estratificados, permeables y porosos con un surtido de sus partes componentes que va desde fino hasta muy grueso. Como puede imaginarse, el tamaño del material arrojado se hace más pequeño a medida que aumenta la distancia de la fuente de procedencia. Por ejemplo, polvo volcánico (de menos de 0.06 mm.), ceniza fina (de 0.06 a 0.5 mm.) y ceniza gruesa

(de 0.5 a 4 mm.) son medidas que se encuentran en el área de estudio. Los lapillis son típicos de los depósitos cercanos a las fuentes de origen y, al encontrarse a largas distancias, quiere decir que las explosiones fueron violentísimas, o los vientos muy fuertes, o ambas cosas, o también que han sido depositados por las corrientes. En general los lapillis gruesos (de 16 a 32 mm.), en fragmentos se encuentran en las cercanías de las fuentes de procedencia o alrededor de éstas. Estos materiales se pueden también designar como "escorias" y como "bombas" volcánicas.

Tomando como base las características petrográficas de los piroclásticos encontrados puede hacerse la clasificación siguiente:

Piroclásticos Sueítos: Bajo esta denominación se consideran los estratos de polvo volcánico, ceniza (fina y gruesa), lapilli (fino o grueso) que se presentan separadamente con grano uniforme o graduados, de carácter basáltico, andesítico y pumítico, con estructura en los granos escoriácea, vesicular o masiva; presentándose también en formaciones en donde los porcentajes de cada uno varía, es decir revueltos en los que también se presenta piedras angulosas del mismo o diferente carácter. Este tipo de piroclásticos se han encontrado generalmente a poca profundidad en el extremo inferior de las faldas de los volcanes y parte central de la planicie, constituyendo las zonas más productivas de aguas subterráneas.

Piroclásticos Consolidados por Entero o Parcialmente.

Los mismos componentes de los antes descritos, pero con mayor a menor grado de consolidación o cementación constituyendo simples agregados, tobas de polvo volcánico, tobas de ceniza, tobas de lapilli, o tobas de mezclas de los tres, lahares (corrientadas de lodo con inclusión de toda clase de materiales y variado tamaño),

aglomerados los mismos anteriores pero fuertemente cementados, breccias volcánicas (materiales angulosos cementados). Los lahares son materiales que se encuentran cerca del lugar de procedencia y parecen ser el resultado de crecidas torrenciales que actuaron sobre desechos empapados de lluvia sobre las laderas volcánicas; las nubes de ceniza se han acumulado generalmente en capas paralelas o concéntricas a la curvatura de la superficie sobre la cual cayeron. Las tobas de polvo volcánico de ceniza o lapilli han servido para dificultar la percolación hacia abajo de la precipitación pluvial en ciertas zonas, produciendo así zonas de aguas "suspendidas" o aisladas sobre el verdadero nivel de las aguas freáticas.

Lavas.

Son materiales efusivos provenientes de los volcanes que flanjean la parte Norte del área, poseen cierto grado de fluidez y viscosidad, así como gases de los que depende el autotransporte y la presencia de poros. Las lavas encontradas en la zona son desde muy básicas hasta poco ácidas: Basaltos Olivínicos y piroxénicos vesiculares y escoriáceros; Andesitas laminares, vesiculares y amigdaloides, y lavas en las que difícilmente puede determinarse su composición considerándose como complejas.

Las partes masivas de las zonas interiores de las corrientes de lava son esencialmente impermeables, pero las zonas en forma de bloque y de fragmentos que componen las partes altas y las bajas de algunas capas, pueden ser bastante permeables (permeabilidad secundaria). Estas zonas, junto con hojas y "lenguas" de escorias y zonas fracturadas entreveradas, contienen bastante agregado para transmitir y almacenar agua, tal es el caso del manantial El Molino en la ciudad de Usulután, en donde el agua se fuga de la cuenca adyacente a través de un manto de este tipo de lava que proviene del Volcán de Usulután.

Piroclásticos Retrabajados.

Se incluyen aquí los materiales de diverso carácter petrográfico así como de diferente tamaño, que han sido sueltos y arrastrados por las corrientes de agua que bajan de las partes altas a lo largo de quebradas o cañones durante la época lluviosa. Tales materiales sufren remodelación en su descenso al chocar unos con otros llegando hasta la planicie los más fácilmente transportados. Pueden llamarse cantos rodados, gravas, arenas y limos.

Sedimentos Aluvionales y Marinos.

Son materiales de relleno que han sido depositados y con alta a media permeabilidad, la cual depende del tamaño de los granos depositados, a su vez estos materiales están cubiertos con sedimentos de pie de monte. Los fragmentos más gruesos se encuentran en las faldas del sistema montañoso formando el abanico aluvial. Los sedimentos más finos, constituidos por arenas (de basálticas a pumíticas) hasta limos, son depositados más allá de los "dedos" del abanico, estos sedimentos van desapareciendo gradualmente dentro de la planicie; hidrológicamente, su existencia es muy significativa, ya que ellos actúan como canales de acceso a las aguas de escorrentía superficial, que bajan de las montañas hacia los depósitos del subsuelo de la planicie.

Los sedimentos marinos se han caracterizado en que, por la influencia de los ríos y las corrientes de invierno han sido llevados hasta el mar y luego demolidos y alterados de tamaño y forma, y a veces en su constitución química-mineralógica por las fuerzas de avance y retroceso del oleaje. Piroclásticos retrabajados y sedimentos marinos se intercalan entre ellos en la zona litoral pudiéndoseles llamar sedimentos aluvionales.

Los porcentajes de extensión en el área que estos materiales cubren puede establecerse en la forma que sigue:

Piroclásticos (Suelos y consolidados)	25%
Lavas	15%
Sedimentos Aluvionales	60%

IV.1.6 ROCAS DEL SISTEMA MONTAÑOSO.

Los macizos que flanjean la parte Norte del área, están compuestos de rocas ígneas extrusivas, su edad se remonta a fines del Terciario en el Plioceno y durante el Cuaternario en el Pleistoceno; la zona ha estado sujeta a actividad tectónica-estructural Plio-Pleistocénica y volcánica reciente, quedando como vestigio de esta última actividad, la fase hidrotermal en estado fumarólico del Volcán de Tecapa en cuyo cráter descansa la sulfurosa Laguna de Alegría.

Las unidades que forman el sistema volcánico están compuestas de materiales efusivos y extrusivos. Las lavas se presentan aflorando en las partes altas de la zona y por los registros eléctricos efectuados en pozos perforados hasta 800 pies se conoce su presencia en la parte media del área de estudio, algunas de estas lavas se encuentran enterradas por materiales eyectados posteriormente en erupciones del tipo explosivo; a lo largo de la carretera de Usulután a Santiago de María en algunos lugares también se pueden observar solamente tobas aglomeráticas. Las lavas andesíticas al enfriarse han formado en su masa, regular número de diaclasas, lo que ha contribuido a desarrollar una permeabilidad secundaria, estas rocas reciben el agua infiltrada proveniente de la precipitación y la transmiten a lugares de menor gradiente hidráulico percolando a través de piroclásticos porosos. En algunos casos estas corrientes subterráneas surgen a la superficie como consecuencia del efecto de un

gradiente elevado, particularmente cuando las formaciones se encuentran atravesadas por fallas o dislocaciones tectónicas.

IV.1.7 ROCAS DE LA PLANICIE.

Depósitos Terciarios.

Los materiales más antiguos que se encuentran en la planicie consisten principalmente en una gruesa secuencia de capas consolidadas que forman el Basamento o Roca Madre, constituidos por aglomerados con intercalaciones de mantos de lava, de tobas que van de Líticas a Aglomeráticas, son materiales provenientes del volcanismo violento del Plioceno-Mioceno. Las capas o estratos son desconocidos en su número y en su espesor (Colinas de Jucuarán y Cerros del Río Grande).

Depósitos Cuaternarios y Recientes.

Están sobrepuestos a los anteriores, en su mayoría son piroclásticos eyectados y sedimentos aluviales (de pie de monte) que provienen de los volcanes aledaños, son materiales que fueron transportados a las partes bajas de la planicie por rápidas avenidas de los ríos y flujos intermitentes de escorrentía superficial que seguían a las lluvias torrenciales. Componen este tipo de rocas, estratos de piroclásticos heterogéneos de estructura variable, se encuentran interestratificados con capas de ceniza y lentes de polvo volcánico, a veces estas capas se han descompuesto a arcilla pegajosa, probablemente en dos fases. Después de una erupción, tuvo lugar un período de sosiego durante el cual la intemperización física actuó sobre los materiales superficiales expuestos. Erupciones posteriores sepultaron este horizonte de suelo y las aguas subterráneas continuaron la descomposición química, luego siguieron repetidas erupciones, intemperización, sepultación y descomposición.

Estos materiales poseen un amplio grado de variabilidad en sus propiedades hidráulicas debido principalmente a sus diferencias litológicas inherentes. La capacidad de transmitir el agua al pie de las montañas es alta debido a que los materiales depositados son más gruesos, y ésta va decreciendo a medida que se acerca a la costa por ser más fina la granulometría de la formación.

Al Sur-Oeste del área se encuentran los depósitos fluviales y marítimos en el delta del Río Lempa, cuya granulometría es de mediana a fina debido a la influencia del acarreo, estas zonas por ser bajas por lo general se encuentran inundadas debido a la falta de drenaje.

Condiciones artesianas se presentan en los alrededores del Puerto El Triunfo, que resultan de un estrato impermeable intermedio que se presenta entre los 200 y 250 pies de profundidad y se ha originado de cenizas cementadas y polvo volcánico alterado a arcilla por la intemperización, y que actúa como un estrato confinante de la formación permeable inferior; condiciones de acuífero table de agua se mantienen en los niveles superiores a este estrato.

IV.1.8 GEOLOGIA HISTORICA.

En resumen, la zona Oriental de la República en general y en particular la que se estudia, fueron sometidas a cambios más intensos contribuyendo a ello los movimientos tectónico-volcánicos y los procesos erosivos posteriores a ellos.

El bloque de Basamento formado durante el Plioceno-Mioceno del Terciario Superior y que uniría las montañas del Bálsamo y Jucuarán, se encuentra hundido y oculto por los materiales eyectados en actividades volcánicas posteriores a aquella de carácter

tectónico que provocó el hundimiento, este bloque desaparece a partir del Sur-Este del Departamento de San Vicente, hasta el de Usulután, en donde reaparece a más o menos 2 kilómetros al Sur de la ciudad del mismo nombre. Puede considerarse la existencia de una gran falla con rumbo E-W que dió origen al graben mencionado y la de otra a lo largo de la cual corre el Río Lempa con orientación al N-E; como puede apreciarse la primera es casi paralela a la línea de volcanes jóvenes que bordea la zona de estudio por su lado Norte. Puede presumirse la existencia de otra falla con rumbo NE-SW a partir del Volcán de Berlín o Cerro El Pelón por el Cerro Grande hasta el SW del Volcán de Usulután, la base de esta presunción es que el rumbo de una falla existente al Norte de la ciudad de Berlín, es más o menos igual o coincide con el que dicho Cerro Grande tiene en su talud de más brusca pendiente, lo anteriormente expuesto queda sujeto a discusión y rectificación.

Formando el graben o fosa central cuya edad se presume remontarse a fines del Plioceno e inicio del Pleistoceno, se originó luego la serie de unidades volcánicas entre las que a la fecha hay algunos en actividad y cuya edad se acerca a más o menos en el Pleistoceno. Los materiales eyectados (Piroclásticos y Lavas) por estos mucizos volcánicos cubrieron la morfología del terreno en ese entonces y a su vez posteriormente fueron recubiertos por los materiales originados en los procesos erosivos que actuaron sobre ellos mismos en las partes altas (Holoceno y Reciente).

Todo este conjunto de materiales depositados en la zona litoral alternan con sedimentos marinos.

Resumiendo, en esta zona la estratigrafía se puede presumir como sigue:

- 1 - Sedimentos Aluvionales marinos intercalados con sedimentos aluviales (Piroclásticos retrabajados) en capas que son desconocidas en número y espesor.

- 2 - Piroclásticos sueltos y consolidados, también desconocidos en número y espesor .
- 3 - Mantos de lava desconocidos en número y espesor, los que también pueden estar presentes con los materiales de los números 1 y 2 .
- 4 - Basamento aglomerado de materiales muy consolidados provenientes del volcanismo violento del Plioceno .

IV.2 AGUA SUBTERRANEA.

La zona costera central, es eminentemente agropecuaria, lo que implica una demanda de agua que crece a medida que el sector se desarrolla; en tal virtud se hace de imperante necesidad cuantificar toda la disponibilidad de agua existente en la zona, es aquí donde radica la importancia de la cuantificación del agua subterránea, ya que el agua superficial no sería suficiente para llevar a cabo futuros proyectos agropecuarios .

La casi totalidad del agua subterránea tiene su origen en el agua de precipitación pluvial que ocurre principalmente en las montañas y escurre hacia el mar a través del subsuelo de la planicie, tal como se puede ver en el plano No . 7 .

El agua subterránea se manifiesta en condiciones de tabla de agua; condiciones artesianas, sólo se conocen en los alrededores del Puerto El Triunfo, producidas por un estrato impermeable de cenizas volcánicas descompuestas en arcilla . Las condiciones de tabla de agua se mantienen en el acuífero superior de este estrato, este estudio trata únicamente del acuífero table de agua .

Los acuíferos costeros constituyen buenas reservas de agua subterránea, pero su explotación se ve generalmente condicionada por el nivel y distancia a que se encuentra el agua salada del océano; por lo tanto su explotación debe ser racional y adecuada, por lo que es necesario cuali-cuantificar su recarga, distribución y descarga.

IV.2.1 INVENTARIO DE POZOS.

El análisis del agua subterránea en la zona se ha llevado a cabo en base a las observaciones llevadas a cabo por el Servicio Hidrológico Nacional en 39 pozos (Ver cuadro No. 23), los cuales en su mayoría han sido excavados a mano, de un metro de diámetro y con profundidades no mayores de 5 metros. El plano No. 7, muestra su localización, pudiéndose observar que la mayoría de pozos están ubicados en la zona Sur y solamente en 2 pozos el nivel freático sobrepasa los 200 metros sobre el nivel del mar.

IV.2.2 OCURRENCIA Y MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA.

El acuífero de la planicie costera Para-Central es alimentado directamente, por las aguas que al ser precipitadas logran infiltrarse a través del suelo y subsuelo, para acumularse en las formaciones portadoras del agua; el volumen de agua infiltrada depende de las distintas formaciones hidrogeológicas del subsuelo y de la precipitación promedio ocurrido sobre estas, en la Planicie Costera Para-Central, las formaciones predominantes son Macizos Volcánicos (686 Km²), sedimentos Aluviales (1609 Km²) y Rocas Volcánicas Antiguas (415.4 Km²); para este tipo de formaciones se han desarrollado pruebas de infiltración */ obteniéndose coeficientes de Infiltración

*/
Estudios de Aguas Subterráneas, Zona Metropolitana.
Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)

(K) de 0.4, 0.1 y 0.05 para las tres formaciones respectivamente. Utilizando estos coeficientes y el Método de Integración de los Promedios de las Curvas Isoyetas se ha estimado la recarga anual del acuífero de la zona en 299.36 mm que equivale a 811.3 millones de m³ en concepto de Infiltración anualmente éste cálculo se puede observar en el siguiente cuadro.

Unidad Hidrogeológica	Area (Km ²)	\bar{P} (mm)	AP	AP A Total	K	$\frac{AP}{AT} \times K$ (mm)
Macizos volcánicos	685.9	1817.6	1246695	460.04	0.40	184.02
Sedimentos Aluvionales	1608.7	1716.2	2760885	1018.78	0.10	101.88
Rocas Volcánicas Antiguas	415.4	1555.9	729410	269.15	0.15	13.46
	2710		1747.47			299.36

Una vez el agua en la zona de saturación se mueve a través de materiales piroclásticos y aluvionales que son el principal medio de transmisión y almacenamiento en la zona, estando su movimiento determinado por el gradiente y las características hidráulicas del acuífero $\underline{x/}$ y la fluctuación del nivel freático respondiendo rápidamente a la precipitación en época lluviosa y en época seca, reflejándose en los caudales de estiaje de la escorrentía de la zona.

El agua subterránea se mueve a partir de las áreas de recarga en las montañas y en dirección del gradiente hidráulico perpendicular a las curvas de contorno, es decir de norte a sur hasta llegar al océano; también muestra una componente hacia ambos lados del río Lempa (Ver Plano No. 7). Los materiales piroclásticos y aluvionales no se encuentran uniformemente distribuidos en la Zona Norte y frecuentemente se ven interrumpidos por la presencia de corrientes de lava y materiales efusivos

$\underline{x/}$ Según estudios de Montenegro y Jerez Bermés.

impermeables o semipermeables que impiden que el agua subterránea se distribuya uniformemente. La profundidad del agua subterránea en el Norte no está bien definida debido a la escasez de pozos y a la ausencia de una zona saturada continua no confinada. Al pie de los volcanes y extendiéndose hacia la planicie, los materiales se encuentran mejor distribuidos transmitiendo más rápidamente el agua subterránea. La pendiente de la tabla de agua es aproximadamente de 5 a 6 metros por kilómetro, y en las inmediaciones del Río Lempa es mucho menor debido a la presencia de sedimentos fluviales, que dan lugar a muy buenas conexiones hidráulicas entre el acuífero y el río. En el plano No. 8 se observa la variación del coeficiente de transmisibilidad; con un valor alto en la región conocida como el Valle del Bajo Lempa como consecuencia de la depositación constante de sedimentos fluviales ocasionados por el Río Lempa. En la zona entre los ríos Lempa y Jiboa, el coeficiente de transmisibilidad crece de Norte a Sur al contrario de la región entre los ríos Lempa y Grande de San Miguel, donde crece de Sur a Norte en forma de abanico en cuya parte central se alcanza el valor más alto de transmisibilidad de la zona (220.000 GPD/pie); éste se debe a que en esta región se ha acumulado una gran cantidad de sedimentos aluvionales, formados por piroclásticos arreglados de tal manera que hacen que la región sea sumamente porosa. La transmisibilidad en esta región decrece a medida que se acerca al mar, debido a que los sedimentos aluviales han sido más afectados por la intemperie causando una disminución en su permeabilidad.

La formación de depósitos aluviales planos y en forma de abanico permiten estimar el Rendimiento Específico o Coeficiente de almacenamiento del acuífero oscilando entre 5% al Norte y el 15% al Sur de la Zona.

El nivel del agua subterránea que en el acuífero de la zona coincide con el nivel freático, indica la elevación de la presión atmosférica del acuífero; el Plano No.7 muestra los niveles de contorno del agua subterránea en la zona. Cualquier fenómeno que produzca un cambio en la presión del agua subterránea será la causa de que el nivel freático cambie. Los cambios que se producen en el almacenaje del agua subterránea se deben a las diferencias entre el suministro y la extracción del agua y eso hace que el nivel del agua experimente variaciones.

La fluctuación estacional del nivel freático permite cuantificar la disponibilidad anual subterránea en el acuífero de la zona; con tal fin se han elaborado curvas de niveles de agua subterránea para 7 pozos distribuidos en toda el área (Ver gráficas No. 11). En estas gráficas se observa que generalmente los niveles de agua subterránea responden rápidamente a la precipitación pluvial, observándose también que la posición más baja del nivel de las aguas subterráneas se alcanza durante el mes de abril, o sea justamente antes del principio de la estación lluviosa; las elevaciones más altas se alcanzan durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, antes de la época seca, cuando el nivel de aguas empieza a declinar respondiendo al drenaje.

IV.3 RENDIMIENTO DE SEGURIDAD DEL ACUIFERO

Comunmente se considera al agua subterránea como un recurso a ser aprovechado ilimitadamente sin ningún control, sin tomar en cuenta que los acuíferos, que si bien son una fuente abundante de agua, están sujetos a condiciones naturales del medio que no siempre son favorables y pueden traer al cabo de cierto período consecuencias deplorables que difícilmente pueden remediarse tales como la intrusión de agua salina al-acuífera, el descenso anormal en los niveles de bombeo y

desequilibrio con la recarga anual. Ante tal situación se hace necesario prevenir técnicamente la utilización de los recursos de agua subterránea estableciendo un Rendimiento Seguro de la Cuenca.

El rendimiento seguro del agua subterránea en una cuenca es la cantidad de agua que se puede extraer anualmente sin producir un quebranto en las reservas. Cualquier extracción en exceso produce una sobre explotación del rendimiento de seguridad.

Observando las gráficas de fluctuación estacional del nivel freático de 7 pozos (Ver gráficas No. 11), para las condiciones actuales del acuífero y como promedio de las observaciones en estos pozos, se puede estimar la descarga del acuífero en 37.1 mm.; valor que representa el agua subterránea disponible sin que haya desequilibrio con la recarga del acuífero. Si se toma en consideración que la descarga del acuífero es función de la recarga y que esta a su vez es función de la precipitación; tomando como base la precipitación media anual de la zona (1773.8 mm) y utilizando el gráfico de la distribución variacional de la precipitación (Ver gráfico No. 9) en el cual se observa que el valor más bajo de precipitación anual en el período es de 1401 mm; tomando en consideración estos dos valores de precipitación se ha calculado un coeficiente de seguridad de 0.79 de tal manera de afectarlo con la descarga del acuífero obteniéndose así un Rendimiento Seguro del Acuífero de 29.3 mm.

IV.4 EVALUACION DEL BALANCE HIDRICO.

Con el propósito de conocer la distribución relativa de los componentes del ciclo hidrológico en la zona estudiada se presenta una evaluación crítica del balance de aguas.

La evaluación supone la comparación de los items de aflujos y de flujos del ciclo hidrológico.

La ecuación a evaluar en el área investigada es la siguiente:

$$P = R + E + I + U \pm AS$$

en donde

P : Precipitación Anual

R : Escorrentía Superficial Anual

I : Escorrentía Subterránea Anual

E : Evapotranspiración Real Anual Calculada

U : Usos Anuales

AS : Cambio de Almacenamiento del Acuífero

La evaluación se basa en los valores anuales promedios calculados para el período de estudio (1961 - 1975) .

Item del Balance		%
a) Precipitación	1773.80	100.00
b) Escorrentía Superficial, mm.	443.07	24.98
c) Escorrentía Subterránea, mm.	299.36	16.88
d) Evapotranspiración Calculada, mm	949.74	53.54
e) Usos, mm	4.49	0.25
f) Cambio en el Almacenamiento	37.10	2.09

Las cifras mencionadas deben ser evaluadas en base a un sano criterio hidrológico, acompañado de una investigación sobre la precisión con que se han calculado cada

una de los ítems del balance; porque en teoría la ecuación del equilibrio hidrológico debe ser el balance, pero en la práctica, a pesar de que todos los términos se pueden calcular, raras veces dá un balance exacto. Esto lo podemos atribuir a las inexactitudes en las medidas, la carencia de datos adecuados, las aproximaciones incorrectas, etc.

Dada la cobertura de estaciones pluviométricas en la zona, la verificación, corrección y relleno satisfactorio de la estadística pluviométrica, así como también el hecho de evaluar la precipitación por medio de los métodos de Thiessen e Isoyetas hace suponer que el error cometido al evaluar la precipitación es mínimo; en la evaluación de la escorrentía superficial el error cometido debe ser pequeño por cuanto los métodos de ajuste y cálculo son confiables; al evaluar la escorrentía subterránea se han utilizado coeficientes hidrogeológicos cuya confiabilidad ha sido demostrada en otros estudios; en cuanto a los usos del agua y tomando en consideración que no existe un control del mismo en la zona, se estimaron tomando en consideración el número de habitantes en el área urbana y rural y en base a dotaciones de consumo de agua */ de 150 lts./hab/día y 30 lts./hab/día respectivamente, a esto hay que agregar el agua usada en concepto de riego la cual se estima */ en 1 lts/hab/día; obteniéndose un total de 4.49 mm. El cambio de almacenamiento del acuífero se evaluó en base a las fluctuaciones observadas del nivel freático y calculado tomando el promedio de las variaciones del nivel freático observadas en los distintos pozos. Como se ha descrito en los diferentes ítems el error probable cometido en estos es mínimo; sin embargo al evaluar la evapotranspiración real de la zona, la cual a diferencia de la potencial depende del consumo de agua de la vegetación existente en la zona, se han utilizado coeficientes de consumo obtenidos de otras investigaciones, utilizando el criterio de

*/ Según datos proporcionados por la Administración de Acueductos y Alcantarillados - Dirección General de Salud y Dirección General de Riego y Drenaje.

que en otras zonas el consumo de un determinado cultivo se comporta de la misma manera en la zona de estudio; en muchas ocasiones la utilización de estos coeficientes en zonas costeras ha traído como resultado valores de evapotranspiración no reales; partiendo de esto y de la carencia de información concerniente a este ítem se consideró que para que la ecuación del balance hídrico cierre, el ajuste se hará al ítem correspondiente a la evapotranspiración. A continuación se presentan los distintos ítems, una vez ajustados.

<u>ITEM DEL BALANCE</u>			%
a-	Precipitación (mm)	1773.80	100.00
	<u>Total Aflujos</u>	1,773.80	100.00
b-	Escorrentía superficial (mm)	443.07	24.98
c-	Escorrentía subsuperf. (mm)	299.36	16.88
d-	Evapotranspiración real (mm)	989.78	55.80
e-	Usos (mm)	4.49	0.25
f-	Cambio en el almacenamiento	37.10	2.09
	TOTAL DE FLUJOS	1,773.8	100%

Según el ajuste hecho anteriormente como puede verse el coeficiente de escurrimiento superficial es de 24.98% y el sub-superficial de 16.88%; con el ajuste a la evapotranspiración éste ítem representa el 55.80% del total del deflujo mientras que 0.25% es en concepto de usos y el 2.09, corresponde al cambio de almacenamiento del acuífero.

C A P I T U L O V

V.1 CALIDAD DEL AGUA.

Para tratar de establecer una relación Demanda-Disponibilidad del agua de la zona, es menester determinar claramente cual es la calidad del agua de la que se dispone y si es posible su uso para la industria, riego y consumo humano. Las determinaciones presentadas en el cuadro No. 24 están basadas en aforos efectuados en los meses de octubre y noviembre de 1976 por el Servicio Hidrológico de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura y Ganadería, a 35 pozos distribuidos a lo largo de la zona de estudio.

La importancia de la cuantificación del contenido de minerales del agua para que en base a esto se determinen las características del agua por separado, reside en que no todas las sustancias afectan de igual manera los diferentes usos del agua; así para consumo humano, son esenciales las determinaciones de Ph, alcalinidad, dureza, cloruros, sulfatos, sólidos disueltos totales, análisis bacteriológico 1/ y otros.

Desde el punto de vista industrial, especialmente para calderas o aguas de circulación, es de gran importancia la determinación del Índice de Saturación. Lo mismo que en otras industrias tales como productos enlatados, curtiembres, papel, textiles, es indispensable la determinación de los valores de contenido de Dureza, Alcalinidad, Sólidos totales, Cloruros, Hierro, Sulfatos, Ph, ya que la presencia de estas características en diferentes cantidades causa inconvenientes en la elaboración de dichos productos.

V.1.2 ANALISIS DE RESULTADOS.

Las principales características físico-químicas que han sido consideradas en la determinación de los diversos usos del agua subterránea son las siguientes: Alcalinidad,

1/ Los análisis bacteriológicos no se han tomado en cuenta debido a problemas que se presentaron para su determinación, por lo tanto únicamente se considera la calidad Físico-química del agua.

Dureza, Cloruros, Sulfatos, PH, Calcio, Magnesio, Sólidos disueltos, Sodio y Boro.

ALCALINIDAD.

Es un carácter químico y se debe a la presencia de bicarbonato e hidróxido en el agua, y se expresa en partes por millón del Carbonato de Calcio (CaCO_3) equivalente. Los iones de carbonato y de bicarbonato presentes en el agua contribuyen a la alcalinidad, mientras que los iones de cloruro, sulfato y nitrato no lo hacen.

La presencia de alcalinidad en el agua no quiere decir necesariamente que el valor de P.H. deba estar por sobre el valor neutro 7. El agua subterránea con un valor por debajo de 7, puede contener al mismo tiempo algunas sales que neutralizarían el ácido y por lo tanto alguna alcalinidad medible.

La alcalinidad es uno de los factores importantes a considerar para el tratamiento de aguas en cuanto al ablandamiento, coagulación y control de corrosión, ya que la acidez de un agua comienza a volverse peligrosa al aparecer cerca de un valor de $\text{PH} = 4.5$ y la presencia de álcalis al acercarse el valor de PH a 9.6, de aquí se puede evaluar qué tipo de tratamiento podemos aplicarle a un agua cuyos valores de PH tengan esos límites (ácido o alcalino).

Para efectos de evaluar la calidad del agua para consumo humano en cuanto al valor de Alcalinidad, se tiene que de los pozos analizados sólo el número 4 sobrepasa el límite máximo tolerable ya que se obtuvo de 432 ppm de alcalinidad (Ver cuadro No. 24).

En general, se puede concluir que la alcalinidad de las aguas del área de estudio son elevadas para fines industriales, por lo que es imprescindible su tratamiento para reducirla a cantidades que permitan su uso.

DUREZA.

La dureza de un agua es debida a iones metálicos bivalentes que son capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones.

Toda la dureza del agua la producen el Calcio y Magnesio provenientes de bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos.

Los iones de bicarbonatos están presentes en el agua subterránea como resultado del bióxido de carbono disuelto que ayuda a disolver la caliza y la dolomita con las cuales entran en contacto desprendiendo por dilución el Calcio y el Magnesio que produce la dureza.

Los contenidos de dureza en el agua están íntimamente relacionados con las incrustaciones que se producen en las tuberías de las industrias, principalmente de calderas, bombas de riego, etc. Por lo cual es indispensable la cuantificación de este parámetro para determinar la posibilidad de que su uso cause problemas, así como la necesidad de tratamientos previos que permitan la utilización del agua sin riesgos para los procesos industriales. Altas concentraciones de dureza también causan problema en el aparato digestivo de la persona.

La evaluación del contenido de dureza de las aguas del área en estudio demuestra que existen variaciones significativas en la mayoría de los pozos estudiados por lo que si se analizan bajo este punto de vista, se observa que para consumo humano,

a excepción de los pozos Nos 3 y 30, todos presentan condiciones favorables, (Ver cuadro No. 24).

En cuanto al contenido de dureza para uso industrial se observa que 15 pozos podrían ser utilizados con problemas menores ya que los rangos van desde 50 ppm hasta 108 ppm. Sin embargo en el resto de pozos los contenidos de dureza se elevan considerablemente llegando a casos extremos como en el pozo No. 30 en donde el contenido es de 632 ppm, convirtiéndose en agua indeseable para los diferentes usos, en esas condiciones (Ver cuadro No. 24).

CLORUROS.

El cloruro se manifiesta abundantemente en el agua de mar donde constituye el ión negativo predominante. El contenido de cloruro que debe tener el agua subterránea de las regiones húmedas es bajo, no excediendo por lo general de 5 ppm.

Cuando se bombean intensamente pozos cercanos a la costa podría desplazarse algo de agua salada, (cloruros) hacia el agua dulce contaminando el acuífero. Los cloruros tienen la propiedad de acelerar la corrosión en las tuberías y calderas; un agua con alto contenido de cloruros, especialmente de Sodio, es impropia para usos agrícolas, ya que impermeabilizan los suelos. Para la mayoría de propósitos un agua con un contenido menor de 150 ppm es adecuada; un contenido mayor de 250 ppm ya es conveniente para el consumo humano puesto que le imprime mal sabor; un contenido mayor de 350 ppm resulta también inconveniente para la mayoría de industrias y riegos.

Los análisis efectuados en las aguas subterráneas de la planicie costera Para-Central muestran que a excepción de los pozos Nos 1, 2, 10, 14, 25, 28 y 30 que contienen

valores arriba de 60 ppm, el resto tienen valores que oscilan desde 13 a cerca de 55 ppm de cloruros. Estos últimos a pesar de ser concentraciones no muy altas, si están determinando que reciben alguna influencia del agua salada del mar, ya que como se dijo anteriormente las aguas subterráneas por lo general son bajas en el contenido de este elemento. Lo anterior hace necesario tomar medidas con el fin de contrarrestar la intrusión salina ya que, si bien ahora las concentraciones de cloruro no presentan problemas para la mayoría de usos una explotación irracional del acuífero podría incrementar considerablemente las concentraciones, haciendo el agua inadecuada para todos los usos. (Ver cuadro No. 24).

SULFATOS.

El ión sulfato (SO_4) es uno de los aniones más comunes en las aguas naturales, siendo relativamente abundante en las aguas duras. Los sulfatos pueden proceder del contacto de las aguas con el sulfato de Calcio y otros minerales comunes de la etapa final de oxidación de los sulfuros, tiosulfatos y sulfitos, y de la oxidación de materia orgánica en el ciclo del azufre.

En el agua para el consumo humano, se han establecido los límites máximos aceptable / permisible de la concentración de ión sulfato en 200 y 400 ppm respectivamente aunque se recomienda que los sulfatos no excedan de 250 ppm, puesto que cuando se encuentran en abundancia imparten al agua para consumo humano cierta capacidad laxante.

En relación a la presencia de este elemento en el agua para uso industrial, altas concentraciones de este compuesto acompañadas de concentraciones elevadas de carbonato de Calcio dan lugar a incrustaciones en forma de sulfato de Calcio, especialmente en agua para calderas.

En el área de estudio los valores de sulfato no son lo suficientemente altos como para que causen problemas ya que el rango que predomina es de 18 a 50 ppm. (Ver Cuadro No. 24).

PH

El PH de la mayor parte de las aguas subterráneas queda definido por la cantidad de gases de dióxido de carbono disueltos y por los carbonatos y bicarbonatos disueltos en las sales minerales. La hidrólisis de sales de bases fuertes y ácidos débiles, o viceversa, produce desviaciones del 7 del valor de PH considerado como límite entre ácidos y bases.

La importancia de la determinación del PH en este estudio estriba en la necesidad de cuantificar el grado de corrosión o de dureza inherente a estas aguas, ya que un PH bajo incrementa la acción corrosiva del agua y los valores extremos de PH no son deseables para usos industriales; el PH óptimo para agua de irrigación depende del tipo de cultivo y de las características físico-químicas del suelo.

Los resultados obtenidos en el laboratorio sobre el PH de las aguas subterráneas de la zona estudiada demuestran que en dichas aguas la mayoría de valores oscilan entre 6.8 y 7.7, valores que indican que estas aguas subterráneas tienden a ser ligeramente alcalinas, situación favorable para los distintos usos del agua (Ver Cuadro No. 24).

CALCIO

Las aguas subterráneas provenientes de depósitos de calizas, dolomitas, azufre o arcillolitas sulfurosas, contienen grandes cantidades de calcio. Otra fuente de absorción de calcio, es la dilución de la mayoría de las rocas. El calcio da al agua la propiedad de dureza y al presentarse con álcalis o sulfatos produce incrustaciones.

Pequeñas cantidades de carbonatos de calcio en las aguas subterráneas son necesarias para que se forme una pequeña película protectora en las tuberías. Concentraciones altas de calcio con respecto al sodio en las aguas subterráneas tienden a mantener una buena estructura y permeabilidad en los suelos regados por estas aguas. Para usos domésticos concentraciones de 75 ppm o menos son aceptables aunque hasta 200 ppm serían tolerables pero se tendrían problemas de incrustaciones en tuberías.

Las aguas subterráneas de la planicie costera para-central son aceptables en cuanto a las concentraciones de calcio se refiere, estas concentraciones varían entre 11.23 ppm y 68.17 ppm. a excepción de las zonas donde están ubicados los pozos No. 3 y 30 los cuales sobrepasan las 90 ppm. de calcio. (Ver cuadro No. 24).

MAGNESIO

Se encuentra presente en la mayoría de las aguas naturales; por ser químicamente muy activo, el magnesio se encuentra en la naturaleza en combinación con otros elementos. Sus sales son muy solubles, con la excepción del hidróxido a altos PH.

La actuación del Mg con respecto al agua es bastante similar a la del Calcio. Una alta concentración de Mg. produce inconvenientes de sabor y coloración en el agua, y puede causar enfermedad en el ganado. Los límites de concentración permisible de Mg. en el agua para consumo humano están comprendidos entre 50 ppm (concentración máxima aceptable) y 150 ppm (concentración máxima tolerable). Los muestreos efectuados en la zona de estudio indican que, con la excepción del pozo 30, toda el agua tiene concentraciones bajo el límite del máximo aceptable (entre 6.32 y 38.88 ppm.); además la concentración de Mg. del pozo 30 (61.24 ppm) no excede al máximo tolerable. (Ver cuadro No. 24).

El Mg, junto con el calcio, favorece el mantenimiento de una buena labrabilidad y permeabilidad de las tierras de labranza, puesto que si la concentración de iones $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ excede a la del Na^+ , las partículas arcillosas del suelo tendrán una fuerte concentración de Ca ó Mg, en intercambio con el Na. Esta relación se verá más adelante, al hablar de la Relación de Absorción de Sodio. (Ver Cuadro No. 26).

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES:

Es la concentración de todos los minerales presentes en el agua. La determinación de la concentración de sólidos disueltos permite evaluar el grado de salinidad presente en el agua subterránea; por lo tanto representa un índice general de la adaptabilidad del agua subterránea para diversos usos.

El agua que contiene mucha materia orgánica mineral disuelta no es satisfactoria para ciertos usos. Si el agua contiene menos de 500 ppm de sólidos disueltos, es por lo general adecuada para uso doméstico y para varios propósitos industriales. Aquella agua con más de 1000 ppm. de sólidos disueltos contiene por lo general minerales que le imprimen un sabor desagradable o la hace inapropiada en otros aspectos.

En la planicie costera Para-Central la concentración de sólidos disueltos totales del agua subterránea en términos generales varía entre 150 ppm y 500 ppm, lo que la hace adecuada para los distintos usos; a excepción del pozo número 30 que sobrepasa las 1000 ppm de sólidos disueltos indicando así que se requiere un tratamiento preliminar en el caso de hacer uso de esta agua. (Ver cuadro No. 24).

SODIO

Es un metal, parte de un grupo que se denomina Metales Alcalinos; de éstos el Sodio es el único que se encuentra en cantidades significativas en las aguas naturales; sin embargo en el agua subterránea de formaciones calizas puede contener unas pocas partes por millón de Sodio con relación a varios cientos de partes por millón de sólidos disueltos totales.

El Sodio tiene la capacidad de dispersar los coloides de suelo provocando una disminución de su permeabilidad y capacidad de labranza. Por otra parte, casi todos los compuestos de Sodio son solubles, de modo que el Sodio desprendido de las rocas o el suelo permanece en solución, situación favorable ya que al no precipitar no forma costra ni materiales incrustantes que pueden causar obstrucción de los pozos.

El Sodio no contribuye a la dureza del agua, sin embargo las aguas subterráneas que contienen cantidades considerables de carbonato de Sodio o bicarbonatos de Sodio, contribuyen a la alcalinidad.

El muestreo de calidad de agua realizado en la zona determina que la mayor parte de valores de Sodio oscilan entre 10 y 72.5 ppm, los cuales son bajos, a excepción de los pozos Nos. 10, 20 y 30 en los cuales las concentraciones de Sodio son altas, sobrepasando las 120 ppm (Ver Cuadro No. 24).

BORO

Frecuentemente se presenta en concentraciones tóxicas junto con otras sales que también se encuentran en los suelos salinos.

El boro, en pequeñísimas concentraciones, es esencial para el desarrollo normal de las plantas; sin embargo apenas excedido de 1 ppm se manifiestan en forma tóxica. Concentraciones de Boro entre las trazas 0.03 a 0.04 se consideran adecuadas para usos agrícolas.

Analizando los resultados de Boro de las aguas subterráneas de la planicie costera Para-Central se observa que las concentraciones de éste varían entre 0.1 y 0.4 ppm y solo 2 valores (pozos Nos 2 y 32) sobrepasa a 0.7 ppm lo que constituye una ventaja evidente en cuanto a usos de éstas aguas se refiere. (Vea cuadro No. 24).

V.2 CLASIFICACION DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

Si bien es cierto que los análisis de laboratorio no incluyen los resultados bacteriológicos que indiquen la calidad bacteriológica 1/ de los pozos en estudio, las características físico químicas determinadas constituyen buenos indicadores para llegar a clasificar desde este punto de vista la calidad de las aguas subterráneas para consumo humano.

Al analizar en forma global el contenido de sustancias químicas de cada uno de las aguas del pozo, del área de estudio se encuentra que a excepción de los pozos Nos. 2, 3, 10, y 30 que tienen contenidos elevados de sólidos disueltos, y el No. 4 con una alcalinidad superior a las normas de potabilidad, el resto reúnen las condiciones aceptables desde el punto de vista físico-químico para el consumo humano (Ver el cuadro No. 25).

1/ Los pozos estudiados son someros y mal protegidos por lo que podría suponerse una contaminación bacteriológica debido a factores externos que se apartan del propósito de este estudio.

V.3 CLASIFICACION DE LAS AGUAS CON FINES DE RIEGO.

Para la clasificación de las aguas con fines de riego, se utilizan tres criterios principales: El contenido de sales solubles, el efecto probable de Sodio sobre las características del suelo y el contenido de sales tóxicas para las plantas. La cuantificación de estos parámetros y sus resultados permiten tomar la decisión de la conveniencia de emplear dicha agua con fines de riego.

En cuanto al primer criterio, o sea el contenido de sales solubles, para su determinación se utiliza como índice la conductividad eléctrica, para medir el efecto del Sodio sobre el suelo se utiliza la relación de absorción de Sodio (RAS); y como índice de elementos tóxicos, la determinación del Boro.

A - CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.

Es la capacidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica.

La conductividad eléctrica en el agua subterránea varía proporcionalmente con la concentración de las sales disueltas y se expresa en millonésimas de mhos, o "micromhos".

Es conveniente estimar la cantidad de sólidos disueltos totales mediante la medición de la conductividad eléctrica, puesto que ello puede hacerse rápidamente.

Las aguas subterráneas con una conductividad eléctrica alta causan corrosión del hierro y del acero, aunque otras propiedades no indiquen la posibilidad de un problema de corrosión. En general, las aguas cuya conductividad eléctrica sea menor de 750 micromhos/cm son satisfactorias para riego aunque aguas con 2250 micromhos/cm son comunmente utilizables, obteniéndose con ellas crecimiento adecuado de las plantas, siempre y cuando haya un buen manejo de la tierra y un drenaje eficiente. Una

conductividad eléctrica mayor de 2250 micromhos/cm rara vez se utiliza para riego aún cuando se practiquen manejos adecuados de tierra y drenaje. La mayor parte de valores obtenidos en la planicie costera Para-Central arrojan cantidades menores de 600 micromhos/cm lo que indica la adaptabilidad de esta agua a los distintos usos. Sin embargo los pozos ubicados cerca de la Bahía de Jiquilisco y del Estero de Jaltepeque sobrepasan los 600 micromhos/cm especialmente el pozo No. 30 el cual tiene una conductividad anormal al compararse con los pozos cercanos. (Ver cuadro No. 26).

Esta situación podría deberse a dos situaciones: A una mala construcción del pozo o a la existencia de estratos geológicos con altos contenidos de minerales solubles que le dan esa característica (Ver mapa No. 6).

B - RELACION DE ABSORCION DE SODIO (RAS)

El peligro de sodificación que trae como consecuencia el uso de agua de riego, queda determinado por las concentraciones absoluta y relativa de los cationes. Si la proporción de Sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación; al contrario, se predomina el Calcio y el Magnesio, el peligro es menor. La relación de estos cationes queda expresado por la siguiente relación.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

donde: Sodio, Calcio y Magnesio, en miliequivalentes/litro.

El desarrollo de un exceso de Sodio en el suelo, es la consecuencia que resulta de usar agua para riego con un valor alto de RAS. Valores de 18 ó mayores se consideran

altos; relaciones de 10 a 18 son valores medios; los valores por debajo de 10 son bajos y no ofrecen el peligro de crear un problema de Sodio.

Los cálculos de esta relación en la planicie del presente estudio muestran que los valores oscilan entre .31 y 7.38 lo que indica que estas aguas son aptas para uso agrícola. Sin embargo el pozo No. 30 presenta cantidades tan altas que descartan la posibilidad de utilizarse con fines de riego (Ver Cuadros No. 26 y 27).

C - SALES TOXICAS.

El indicador para evaluar este parámetro es el Boro el cual ya se ha analizado. Sin embargo se puede decir que los valores del Boro en las aguas subterráneas del área de estudio no representa problema para ser utilizadas con fines de riego.

Se ha mencionado anteriormente que las sales de Mg y Ca que se presentan en cantidades moderadas, favorecen las tierras para cultivos, proporcionándoles permeabilidad y por lo tanto, facilidad para la labranza. Las sales de Na al incrementarse invierten las cualidades anteriores convirtiendo los suelos en tóxicos para las plantas.

La presencia excesiva de carbonatos y bicarbonatos en las aguas para irrigación es dañina, ya que éstas hacen precipitar al Ca y Mg, liberando así los iones de Na los cuales quedan disueltos en el suelo. Este fenómeno es notorio en el paso del agua que viene de la Zona Norte hacia la costa, cuando al pasar a través de las rocas y sedimentos disuelve dichas sales de Ca y Mg. Para facilitar la evaluación de la calidad del agua que se usa para riego se empleará el cuadro No. 26 en la que se muestra la clasificación del agua para irrigación en base a la relación existente entre el índice RAS y la conductividad eléctrica.

De dicha figura podemos concluir que casi todas las aguas de los pozos analizados son del tipo C-2-S1, lo cual indica agua de baja a mediana salinidad y bajo contenido de sodio. Los pozos cercanos a la costa, como el 3, 10 y 23, como es lógico, están más contaminados y nos dan una clase C3-S1, en especial hay que hacer mención del pozo No. 30 el cual nos da un tipo C4-S2 lo cual indica aguas de alta salinidad (Ver cuadro No. 27). Este fenómeno puede deberse a la combinación favorable de una gran transmisibilidad subterránea (debida al tipo de material predominante en el lugar) unida a una gran tendencia a la formación de sales resultantes de la reacción entre los elementos componentes del agua subterránea y de los suelos a través de los cuales se percola dicha agua subterránea.

V.4 CLASIFICACION DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL

La clasificación de las aguas subterráneas de los pozos estudiados para usos industriales se ha tomado en cuenta la que se utiliza para alimentación de calderas, enfriadores, etc. y las usadas para el procesado de alimentos, textiles y bebidas.

En cuanto a las primeras, se trata de establecer las propiedades de las aguas para provocar incrustaciones o corroer las tuberías, válvulas, calderas, etc. para lo cual se ha utilizado para medir esta condición el índice de Saturación.

El índice de Saturación, llamado también "Índice Langelier" se define como la diferencia algebraica entre el pH medido del agua y el pH calculado a la saturación del carbonato de calcio (pHs), o sea:

$$I_s = \text{pH} - \text{pH}_s$$

El pHs es un pH calculado, considerando las durezas del calcio, alcalinidad y de sólidos disueltos en el agua, y viene dado por la ecuación:

$$\text{pH}_s = \rho_{\text{Alc}} + \rho_{\text{Ca}} + C$$

donde el Ca y la Alc están expresados como ppm de Ca C03 y Alc y Ca son valores que se determinan en una gráfica especial. (Ver cuadro No. 28).

El uso de la ecuación de Langelier hace posible predecir la tendencia de un agua, natural o tratada, a depositar el carbonato de calcio en solución, o a disolver el carbonato de calcio que entra en contacto con ella. Un índice de saturación positivo indica una tendencia a depositar el carbonato de calcio. Un índice de saturación negativo indica una condición de subsaturación respecto al carbonato de calcio, o sea, una tendencia a disolver el Ca C03 que pudiera existir, presentándose entonces problemas de corrosión.

para que un agua sea utilizable en la industria, lo ideal sería que tuviese un I.S.=cero; sin embargo para fines prácticos, el valor de I.S. debe oscilar entre 0.6 y 1.0 ya que de esta manera el agua puede producir una pequeña película que le sirve de protección contra la corrosión a las tuberías.

La evaluación del I.S. para todos los pozos de la zona, dió como resultados valores negativos para todas las muestras, lo que nos indica que tales aguas no pueden ser usadas para la industria en su estado natural, sino que es preciso efectuar un tratamiento adecuado preliminar. Como se observa en el Cuadro No. 24, los pozos más perjudicados son los Nos. 19, 21, 32, 33 y 34 (Ver Cuadros Nos 28 y 29).

En cuanto a la calidad del agua del área de estudio con fines de industria de proceso, se deduce que dado el alto contenido de sales minerales presentes en la mayoría de pozos del área hace indispensable que éstas aguas reciban tratamiento previo

especialmente para disminuir el alto contenido de sólidos disueltos, dureza, alcalinidad, etc. ya que los requerimientos para elaborar productos alimenticios, bebidas, textiles, papel y otros, son más estrictos que para el uso en calderas. (Ver el cuadro No. 29).

Cuadro No. 29
Tolerancias de las Aguas Industriales de Proceso

Industria	Dureza ppm	Alcalinidad ppm	Sólidos totales ppm
Artículos horneados	20	0	0
Cerveza	0	75 - 150	500 - 1000
Bebidas gaseosas	0	75 - 150	100 - 500
Alimentos enlatados	25 - 75	0	0
Pastelería	0	0	0
Hielo	0	30 - 50	300
Textiles	20	0	0
Papel	50	0	200
Plásticos	0	0	200

C A P I T U L O VI

INTRUSION SALINA.

VI.1 GENERALIDADES.

La intrusión salina es un fenómeno que se presenta cuando factores humanos y naturales se conjugan produciendo una disminución en el nivel freático hasta tal grado que se invierte la gradiente hidráulica del acuífero permitiendo que el agua de mar se introduzca en el manto de las aguas subterráneas, gracias a su mayor densidad; desafortunadamente la intrusión salina es un proceso que, una vez iniciado, es irreversible.

El incremento de la demanda de agua de un acuífero costero puede llevar a una sobreexplotación del mismo, originando así el problema de la intrusión salina. Si el agua de mar llega a los pozos situados en el interior, el consumo del agua pierde su utilidad; no obstante, aunque el acuífero esté contaminado en alguna medida por el mar, puede aún tardar muchos años en alcanzar el nivel de salinidad del agua que lo torne inadecuado al uso que se piense destinar tal agua.

La filtración del agua del mar se puede acentuar según que haya accesos artificiales directos entre el agua del mar y el agua dulce. Al mezclarse estos dos fluidos de densidades diferentes, se forma una superficie de discontinuidad, dependiendo su forma y movimiento del balance hidrodinámico entre el balance de agua dulce y del agua salada.

La forma que toma el frente teórico del agua salada al introducirse en un acuífero costero se asumirá que es una cuña (Relación de Ghyben-Herzberg), tal como se ve en la figura No. 2.

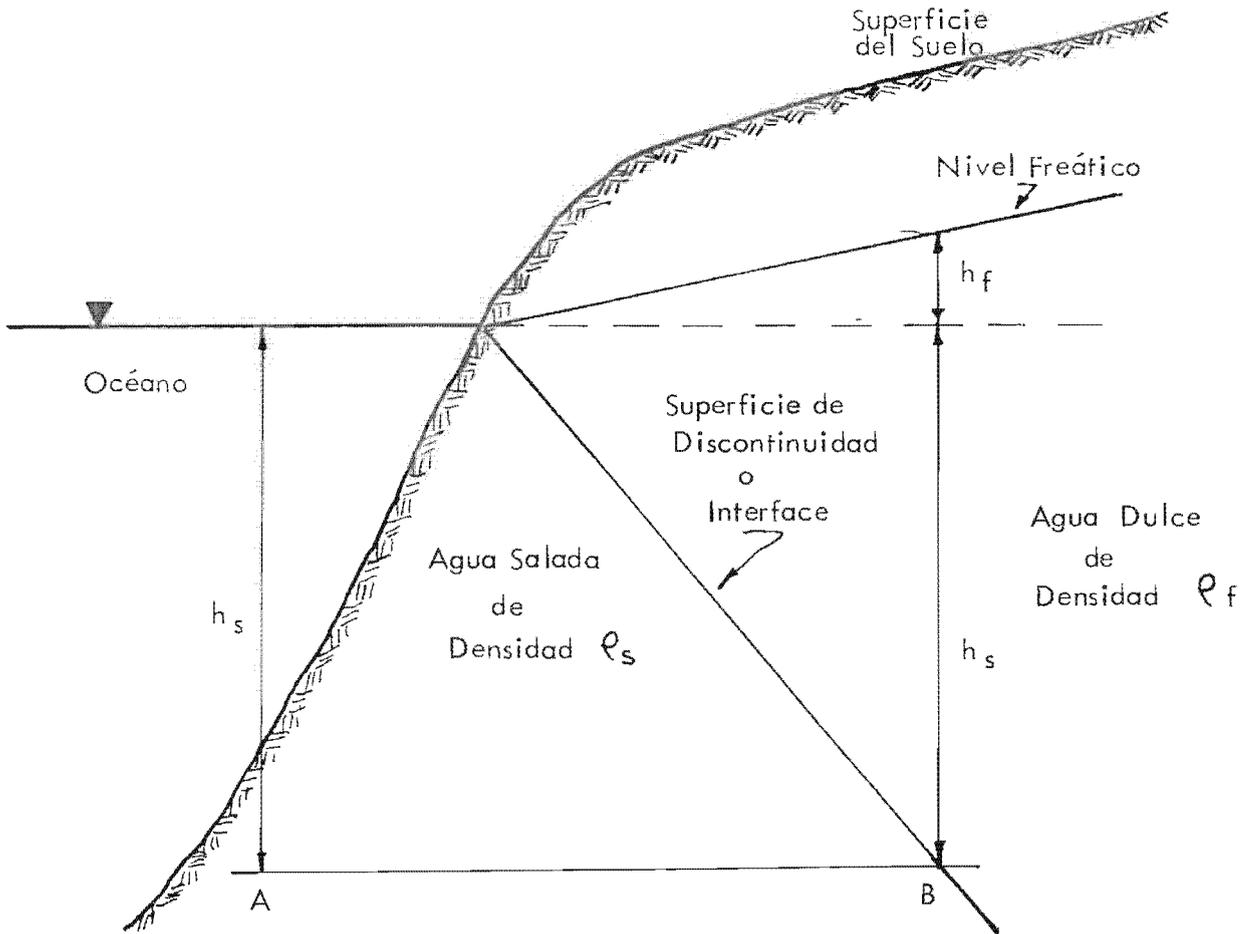


Fig. 2

Dibujo ideal en la distribución del agua dulce y salada en un acuífero costero no confinado y en donde se puede ver la relación de Ghyben-Herzberg.

Esta relación implica que el agua salada aparece bajo tierra, no al nivel del mar, sino debajo de él, aproximadamente a cuarenta veces la altura del agua dulce sobre el nivel del mar, atribuyendo esta distribución a un equilibrio hidrostático que existe al estar en contacto dos fluidos de densidades diferentes. Conviene observar que de la relación de Ghyben-Herzberg para el equilibrio entre el agua dulce y salada se requiere que el nivel freático, o superficie piezométrica:

- a) Que esté por encima del nivel del mar.
- b) Que la pendiente esté dirigida hacia el océano.

En el cálculo de la relación de Ghyben-Herzberg se supone de forma implícita que la pendiente de la superficie de discontinuidad formada por el agua dulce-salada es hacia la costa.

VI.2 PARAMETROS DE LA SALINIDAD.

La salinidad de una solución puede ser expresada en términos de:

- 1) Conductividad eléctrica: Es la capacidad que tienen las aguas para transmitir la corriente eléctrica. Dicha conductividad eléctrica se expresa en términos de milimhos/cm (mmhos/cm) o en micromhos/cm (mhos/cm).
- 2) Sólidos Totales Disueltos. Esto se logra evaporando la solución de muestra, expresando el residuo en partes por millón (ppm) o en porcentaje.
- 3) Equivalentes Químicos. Por vía del análisis químico, expresando el resultado en miliequivalentes por litro (m.e./lt.).
- 4) Presión Osmótica. Fenómeno por medio del cual al regar los suelos, algunas soluciones se desplazan hacia abajo y la solución de la parte superior del

perfil puede llegar a aquella de las aguas de riego. A medida que la humedad se mueve hacia arriba en el suelo, por capilaridad, desde los niveles más bajos, lleva con ella sales en solución. Al irse secando los suelos, la concentración de las sales aumenta y también aumenta la energía necesaria para remover el suelo seco, y el crecimiento de las plantas es restringido. Ambas, la humedad del suelo y la solución salina pueden ser expresadas en términos de presión osmótica, uniendo así los efectos de la sequedad y la salinidad.

VI.3 PRINCIPALES METODOS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA INTRUSIÓN SALINA .

Entre los diversos métodos utilizados se pueden citar los siguientes:

- 1) **Modificación de Bombeo:** En los acuíferos costeros si se reduce el bombeo de los pozos se puede atenuar la sobreexplotación, que es lo que causa la intrusión. Esto capacita a que los niveles del agua subterránea se eleven por encima del nivel del mar y se mantenga un gradiente dirigido hacia él. Para la costa esto puede ser una solución directa del problema, aún en el caso de que la reducción se haya hecho voluntariamente por los usuarios del agua, los cuales podrían esperar solamente si el agua suplementaria de otras fuentes es comparable a la de la costa.

- 2) **Recarga Artificial:** Otro método para controlar la intrusión salina es que la recarga artificial se introduzca en los acuíferos o en los pozos dedicados a este objeto. La sobreexplotación se podría eliminar, los niveles del agua y los gradientes se mantendrían. Este método es técnicamente posible en zonas extensas, siendo las más adecuadas para la recarga los acuíferos confinados y los pozos que en ellos hay. Es importante la buena calidad del agua suplementaria que se emplea

en la recarga y el bombeo exterior que se hace sobre las zonas próximas con el fin de que se puedan formar áreas donde el ciclo sea extensivo.

3) Fosas de Bombeo: Si se construyera una línea de pozos muy cerca de la costa y paralelamente a ella, al efectuar el bombeo se podría formar un descenso en el nivel del agua subterránea. Esto nos daría lugar a un gradiente que podría limitar la filtración del agua de mar a una cuña estacionaria en la tierra.

4) Método de las Grandes Presiones: Este método es lo inverso del anterior; consiste en formar y mantener una cuña de altas presiones de agua dulce que siga la forma de la costa. En los acuíferos no confinados una línea de pozos de recarga podría formar una elevación en la superficie piezométrica. Esta elevación deberá estar lo suficientemente alta sobre el nivel del mar tal que sirva para contener el agua de mar.

5) Barreras Subterráneas: Con la construcción de una barrera subterránea se puede reducir la permeabilidad del acuífero lo suficiente para prevenir la filtración del agua de mar. Las barreras pueden consistir en diques delgados de asfalto prensados con arcilla y con cemento hidráulico o bien formando una membrana impermeable al inyectar en orificios convenientemente espaciados una emulsión de asfalto, sal silícica y una mezcla de cemento y fango de bentonita.

VI.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para la determinación de la intrusión salina se utilizaron los parámetros de conductividad eléctrica, cloruros y sólidos totales disueltos.

El primer paso dado para establecer la zona de intrusión salina, y la forma de la cuña de salinidad fue el de determinar las líneas de igual concentración de cloruros o isocloras, las cuales definen una cuña inicial bastante demarcada que se extiende a lo largo de los pozos Nos. 2 y 3, introduciéndose más a la altura del pozo No. 36, y presentando su máxima penetración cerca del pozo No. 14, para luego disminuir al pasar por los pozos Nos. 21 y 38. Es interesante observar que la cuña de intrusión salina queda abajo de la Carretera Panamericana.

En cuanto a la conductividad eléctrica, se tomó como límite permisible para definir la salinidad del agua el valor de 600 micromhos/cm, procediendo luego a trazar las líneas de igual conductividad eléctrica, lo cual condujo a determinar una zona de salinidad similar a la obtenida con las líneas isocloras (Ver mapa No. 9).

La conductividad eléctrica se relaciona estrechamente con la cantidad de sólidos totales disueltos, por lo cual se consideró también trazar las líneas de sólidos totales disueltos, tomando como base representativa de intrusión salina un valor de 500 ppm (Ver plano No. 10).

Como se puede apreciar en los planos Nos. 9 y 10, hay una correlación aceptable entre las líneas representativas de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos. De los planos así obtenidos se desprenden dos hechos importantes: la existencia de una amplia cuña de intrusión salina que se desplaza a ambos lados del río Lempa hasta llegar a la barrera geológica impermeable y la presencia de una "bolsa" de salinidad

alrededor del pozo 30, cuya dirección es de la costa hacia el mar, el cual podría considerarse como un hecho puntual según se hizo mención en el Capítulo V.

Debido a que no se realizaron muestreos a distintas profundidades del estrato saturado, no se puede definir completamente la cuña de intrusión aunque superficialmente se nota un considerable avance, en especial al poniente del río Lempa; sin embargo de acuerdo a la teoría de Ghyben-Herzberg, se puede aseverar en una forma cualitativa, que la intrusión salina en los estratos más profundos deberá presentar un avance considerablemente mayor.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1 CONCLUSIONES

De la evaluación de los distintos aspectos generales inherentes a la zona estudiada se presentan a continuación las conclusiones obtenidas:

1o. La planicie costera para-central representa el 12.49% del territorio nacional; con un alto potencial turístico, industrial y agrícola, por lo que es factible llevar a cabo proyectos de futuro desarrollo.

2o. Las características socio-económicas de la planicie costera para-central son poco favorables debido a la mala distribución de la tierra, la alta densidad poblacional y la poca asistencia técnica y social que se le brinda.

3o. En la planicie costera para-central no existe una planificación del uso del agua y suelo.

4o. La disponibilidad de agua en la zona es satisfactoria, la distribución de los componentes hidrológicos es la siguiente:

Precipitación	1.773.80	mm
Escorrentía Superficial	443.07	mm
Escorrentía Subterránea	299.36	mm
Evapotranspiración real	989.78	mm
Cambio del Almacenamiento	37.10	mm
Usos	4.49	mm

El rendimiento seguro del agua subterránea de la cuenca estudiada para las condiciones actuales es de 79% del cambio de almacenamiento, o sea 29.3 mm. que presenta 79.4 millones de metros cúbicos disponibles al año.

5o. En cuanto a la calidad del agua subterránea de la zona para sus diferentes usos, presenta condiciones favorables desde el punto de vista físico-químico para uso de riego y consumo humano y para el uso industrial con tratamientos previos.

6o. En cuanto a la intrusión salina, se pone de manifiesto el avance en gran medida de la cuña de intrusión salina, notándose mayor avance al lado poniente del Río Lempa.

VII.2 RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones obtenidas en el presente estudio se presentan a continuación las recomendaciones necesarias de tal manera de poder llevar a cabo proyectos de futuro desarrollo.

1- Debido al alto potencial de la planicie costera para-central es necesario alcanzar el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales llevando a cabo programas de desarrollo integral por cuanto esta área podría representar una fuerte fuente de divisas para el país.

2- Debido a las características socioeconómicas desfavorables de la zona en estudio es de imperante necesidad tomar las medidas que permitan corregir las deficiencias sociales y económicas, de tal manera de poder llevar a cabo futuros proyectos de desarrollo.

3- Es necesario planificar el uso de los recursos naturales de la zona ya que el uso irracional e inadecuado traería como consecuencia la sobre explotación de los

mismos. Esta Planificación debe ser estructurada y legislada de tal manera que oriente al buen uso de los recursos naturales de la zona.

4- Para evitar en el futuro el deterioro de la calidad del agua subterránea y superficial de la zona es necesario tecnificar la explotación y mantener un control permanente de la calidad de agua.

5- Se hace necesario evitar la tala de bosques salados e incrementar su cultivo a lo largo de la costa, por cuanto estos constituyen una barrera natural a la intrusión salina.

6- Se recomienda para la prevención y control de la intrusión salina el método de la "Modificación de Bombeo" que consiste en reducir el bombeo de los pozos de tal manera de atenuar la sobreexplotación que es la principal causa de la intrusión salina. Esto capacita a que los niveles de agua subterránea se eleven por encima del nivel del mar y se mantenga un gradiente dirigido hacia él. Para la costa esto puede ser una solución directa del problema, si el usuario toma conciencia del problema, de tal manera que se logre una reducción voluntaria en la explotación.

CUADRO N° 1

POBLACION (miles de habitantes)				
	Planicie costera o PARA CENTRAL	PAIS	% respecto a la planicie	% respecto al país
URBANA	141.3	1462.6	30.9	9.66
RURAL	316.0	2312.8	69.1	13.66
TOTAL	457.3	5775.4	100.0	12.11

Fuente: " III censo de población 1971 "
 Dirección General de Estadísticas y Censos

CUADRO N° 2 A

PRODUCTORES POR ALFABETISMO

Tipo de Productores	Total Productores	% con respecto al total de la zona	% con respecto al total del país
Alfabetos	12415	40.78 %	11.46 %
Analfabetos	18029	59.22 %	11.09 %
TOTAL	30444	100.00 %	11.24 %

Fuente: " III Censo Nacional Agropecuario, Vol. I, 1971, cuadro 4"
 Publicado por la Dirección General de Estadística y Censos.

CUADRO Nº 2 B

RECURSOS EDUCACIONALES EN LA ZONA

	En Usulután, San Vicente y La Paz	En la zona de estudio	% con respecto al total de la zona
Escuela	672	413	65.87 %
Aulas	2509	1694	67.76 %
Alumnos	117496	79234	67.44 %

Fuente: Ministerio de Educación, 1976

CUADRO Nº 3

ESTRATIFICACIÓN DE LA TIERRA (PLANICIE COSTERA PARA-CENTRAL)						
Estratos (Ha.)	Propietarios		Superficie		% respecto al país	
	Planicie	% respecto a la planicie	Planicie Ha.	% respecto a la planicie	Propiet.	Superficie
Total	47465	100.00	285937	100.00	17.5	19.70
0-9.9	44094	92.90	72584	25.38	17.6	18.43
10-49.9	2573	5.42	54344	19.00	15.9	15.87
50-99.9	362	0.76	29182	8.81	16.2	16.30
100.- o más	436	0.92	133627	46.81	22.5	23.83

Fuente: " III Censo Nacional Agropecuario 1971"
 Dirección General de Estadística y Censo .

CUADRO N° 4

Superficies de Rodamientos	Km. en la Zona	% con respecto al total de la zona	% con respecto al total del país
Carreteras Pavimentadas	264	10.89 %	19.22 %
Carreteras Revestidas	548	22.60 %	26.85 %
Cominos de Tierra	1612.4	66.51 %	21.33 %
TOTAL	2424.4	100.00 %	22.09 %

FUENTE: "El Salvador en gráficos, 1975"
Dirección General de Estadísticas y Censo

CUADRO N° 5

UTILIZACION DE LA TIERRA EN EL AREA

	Superficie (Ha)	%	% con respecto al país
Tierras de labranza	84304	44.98	17.26
Cultivos permanentes	26818	14.31	16.40
Pastos	49771	26.56	8.97
Montes y Bosques	14521	7.75	8.64
Otras Tierras	12005	6.4	15.58
TOTAL	187419	100.00	12.91

Fuente: Tercer Censo Nacional Agropecuario, Vol. 1, 1971 Cuadro 3, Publicado por la Dirección General de Estadísticas y Censos.

CUADRO Nº 6

CULTIVOS PREDOMINANTES EN EL AREA DE ESTUDIOS Y SU RELACION RESPECTO AL TOTAL DEL PAIS

Cultivos	Superficie por cultivo en el área	Superficie en total del país	% Respecto a la Zona	% Respecto al total del país
Algodón	34680	64187	25.49 %	54.03 %
Granos básicos	26567	146416	19.52 %	18.14 %
Café	23419	147039	16.48 %	15.25 %
Pastos	42771	554881	36.58 %	8.97 %
Cocos	23750	3440	1.74 %	69.04 %
Bananos	259	2084	0.19 %	12.43 %
TOTAL	136071	918047	100.00 %	14.82 %

FUENTE: "3er. Censo Nacional Agropecuario 1971" Vol. I y II
Dirección General de Estadísticas y Censo.

CUADRO Nº 7

COMPARACION DE LA SUPERFICIE REGADA DEL AREA DE ESTUDIO RESPECTO A LOS DEPARTAMENTOS Y AL TOTAL DEL PAIS.
(HAS)

	Superficie regada en el área	Superficie regada en los Deptos. en donde está ubicada el área	Superficie regada total del país	% Regada respecto a:	
				Los Departamentos	Al país
Eño.	1711.0	1780.0	13076.0	96.1	13.1
Pozo	302.0	860.0	2069.0	35.1	14.6
Otros	1630.0	1724.0	4929.0	94.5	33.1
TOTAL	3643.0	4364.0	20074.0	83.5	18.1

FUENTE: "III Censo Nacional Agropecuario 1971" Vol. I y II.

CUADRO Nº 8

USOS DEL AGUA

	Hab. (miles hab.)	Dot. (lt./hab./dia)	Total (mm ³)
Población Rural	141.3	30	2.85
Población Urbana	316.0	150	1.28
Riegos	3643.0	1 lt./hab./dia	0.36
TOTAL			4.49

CUADRO Nº 9

CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS, PLANICIE COSTERA PARA-CENTRA

Parámetro	Mínimo (Prom.)	Máximo (Prom.)	Promedio Anual	Período (Años)	Estaciones
Temperatura (°C)	21.2	34.5	26.7	25	Sta. Cruz P.
	17.6	28.9	21.9	17	Stgo. de María
Humedad relativa del aire	65	84	73	25	Sta. Cruz P.
	66	86	76	18	Stgo. de María
Nubosidad total (%)	2.9	7.5	5.5	18	Sta. Cruz P.
	3.8	8.3	5.8	27	Stgo. de María
Luz solar (horas)	4.8	10.0	8.5	18	Sta. Cruz P.
	6.0	10.1	8.2	17	Stgo. de María
Viento (m/seg)	1.0	1.8	1.4		
	Costa	Volcán			
Precipitación (mm)	1637	2204	1764	15	Sta. Cruz P.
	1443	2475	1855	15	Stgo. de María

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Recursos
Hídricos y Renovables, Servicio Meteorológico Nacional.

CUADRO Nº 10

RED METEOROLOGICA DE LA ZONA COSTERA PARA CENTRAL

ESTACION	INDICE	ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR	UBICACION		CATEGORIA	AÑO DE FUNDACION	Nº. DE AÑOS DE REGISTRO	OBSERVACIONES
			LATITUD	LONGITUD				
MOLINEROS	V 1	6 0 0	13 39.3	88 51.5	●	1 9 3 6	41	
TEHUACAN	V 5	3 6 0	13 33.3	88 47.1	●	1 9 3 2	45	
San C HORRILLO	V 6	3 0	13 26.4	88 48.2	■	1 9 4 9	28	
ZACATECOLUCA	P 2	1 9 0	13 30.5	88 51.9	●	1 9 2 7	50	
ROSARIO DE LA PAZ	P 3	1 0 0	13 30.1	89 01.9	●	1 9 6 0	17	
LA HERRADURA	P 4	5	13 2 1.1	8 8 57.3	●	1 9 6 0	17	
San M. TEPEZONTES	P 5	6 0 0	13 4 1.4	8 9 21.6	●	1 9 6 0	17	
Hdo. ASTURIAS	P 11	4 0	13 27.4	89 02.7	▲	1 9 7 0	7	
Hdo. EL SAUCE	P 12	4 0	13 26.5	8 8 57.0	●	1 9 4 7	30	
San ANTONIO ARRIB	P 13	3 5 0	13 33.9	8 8 55.1	●	1 9 7 4	3	
San M. LEMPA	U 1	2 0	13 25.5	8 8 41.8	●	1 9 2 7	50	
JICUILISCO	U 3	5 5	13 25.5	8 8 34.0	●	1 9 3 5	42	
USULUTAN	U 4	7 5	13 20.4	8 8 26.3	●	1 9 2 8	49	
Sigo. DE MARIA	U 6	9 2 0	13 29.1	8 8 28.3	■	1 9 5 7	20	
San MAURICIO	U 8	5 5 0	13 26.4	8 8 29.4	●	1 9 1 0	67	
Fca. San TRINIDAD	U 9	6 1 0	13 26.5	8 8 31.2	●	1 9 5 9	18	
Rio EL TRIUNFO	U 10	5	13 16.4	8 8 33.1	●	1 9 5 4	23	
LA CARRERA	U 11	7 5	13 19.8	8 8 31.5	■	1 9 6 0	17	
Pto. PARADA	U 14	2	13 13.2	8 8 26.5	●	1 9 6 2	15	
Hdo. NORMANDIA	U 23	4 5	13 21.7	8 8 38.3	●	1 9 7 1	6	

SIMBOLOGIA:

- ESTACION CLIMATOLOGICA PRINCIPAL
- ▲ " " ORDINARIA
- ESTACION PLUVIOMETRICA

CUADRO N° II

DATOS DE PRECIPITACION EN EL PERU U. A. I. (mm)

U. 3

Estratos	1954												
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	
1 - 6.2	182	244	442	147	601	309	180	2	.	.	.	59	2166
2 - 6.3	70	410	252	220	372	285	80	.	1	19	.	4	1713
3 - 6.4	291	546	262	256	474	278	307	.	.	.	.	172	2586
4 - 6.5	111	415	516	276	369	176	36	11	.	.	.	12	1922
5 - 6.6	109	310	168	236	647	99	31	.	.	.	.	52	1652
6 - 6.7	163	558	(285)	364	305	241	35	.	.	.	.	68	2021
7 - 6.8	34	310	199	203	323	191	2	.	.	.	.	31	1295
8 - 6.9	237	379	87	238	503	430	52	.	.	.	.	.	1950
9 - 6.9	197	397	219	417	407	574	41	.	.	.	.	4	2259
10 - 6.9	210	459	414	397	(442)	385	40	15	.	.	.	.	2362
11 - 7.2	124	323	216	448	546	270	51	4	.	.	.	133	2117
12 - 7.3	257	193	176	281	339	379	57	.	.	.	.	23	1704
13 - 7.4	201	427	231	463	488	328	34	1	.	.	.	.	2173
14 - 7.5	151	369	133	274	315	167	76	.	.	.	15	.	1497
15 - 7.5	167	331	257	301	436	294	73	.	.	.	.	54	1965
TOTAL	167	381	257	301	438	294	73	2	.	1	3	41	1954

CUADRO Nº II

DATOS DE PRECIPITACION EN SUAL (mm)

ESTACION CÓD.	Hda. Asturias						P 15 años			1666			NOMENCLATURA			P 11	
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE	DIGRES	CHELL	FEDEGLAVADO	AGOSTO	AGOSTO	AGOSTO	AGOSTO	AGOSTO	AGOSTO		
1-1-62	122	136	358	262	453	303	145	23	.	.	.	1	1803	.	.	.	.
6-2-63	93	407	184	203	357	298	4	.	.	.	.	4	1550	.	.	.	.
1-3-64	195	234	229	289	429	284	145	.	.	.	.	91	1896	.	.	.	.
1-4-65	105	438	369	432	208	284	54	29	.	.	.	17	1936	.	.	.	.
1-5-66	45	461	182	154	416	136	15	4	.	.	.	24	1437	.	.	.	.
1-6-67	150	416	222	494	312	194	.	.	.	.	.	57	2100	.	.	.	.
1-7-68	24	237	151	116	304	200	3	6	.	.	.	12	1053	.	.	.	.
1-8-69	190	176	104	239	376	284	61	29	.	.	.	111	1570	.	.	.	.
1-9-70	98	226	181	500	357	287	54	10	.	.	.	3	1713	.	.	.	.
1-10-71	109	297	216	309	293	178	17	43	.	.	.	33	1521	.	.	.	.
1-11-72	84	294	200	336	319	246	60	2	.	.	.	10	1557	.	.	.	.
1-12-73	130	152	164	296	453	291	53	.	.	.	.	64	1603	.	.	.	.
1-1-74	130	298	317	393	258	318	24	2	.	.	.	60	1800	.	.	.	.
1-2-75	98	498	206	228	329	152	5	.	.	.	.	2	1622	.	.	.	.
1-3-76	65	178	158	380	448	392	199	.	.	.	.	3	1833	.	.	.	.
1-4-77	109	297	216	309	354	256	56	10	.	.	.	25	1666	.	.	.	.

CUADERNO 1111

DE DATOS DE PRODUCCION DE CEMENTO

ESTACION	MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		PROMEDIO
	1950	1951	1950	1951	1950	1951	1950	1951	1950	1951	1950	1951	1950	1951	1950	1951		1950
61-62	189	318	349	192	593	356	142	13	.	.	43	97	2143				
63-64	(131)	(312)	402	342	364	294	66	4	3	3	10	38	1969				
65-66	(131)	(312)	(314)	(328)	364	294	66	4	3	3	10	38	1867				
67-68	(131)	505	582	318	(319)	(294)	2	5	3	3	10	38	2183				
69-70	120	298	(205)	206	362	150	.	.	.	19	.	9	1371				
71-72	187	312	423	(487)	364	193	66	.	.	.	.	23	2123				
73-74	43	234	(222)	255	428	289	23	8	.	3	28	60	1556				
75-76	131	(312)	314	328	(364)	294	66	4	3	3	10	38	1867				
77-78	210	219	246	319	403	427	26	.	3	3	10	38	1863				
79-80	168	212	344	418	427	282	9	13	5	.	.	8	1910				
81-82	138	246	301	313	342	338	62	3	13	.	.	24	1846				
83-84	165	200	152	443	(290)	(168)	(69)	4	3	3	10	38	1529				
85-86	52	264	314	328	364	397	26	.	.	.	.	38	1738				
87-88	100	638	238	192	354	60	66	4	11	.	20	12	1726				
89-90	67	301	301	446	172	520	249	.	3	1	.	70	2208				
91-92	131	312	314	328	364	294	66	4	3	3	10	38	1866				

CUATROS DE PRECIPITACIÓN EN EL SUR DE CHILE

M 5

ESTACIÓN	Tehuacán												
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	
	127	(269)	(520)	(178)	522	335	228	7	*	*	*	33	2219
	160	482	(973)	(225)	(404)	458	8	8.8	*	1	0	2	2131
	197	563	(508)	368	457	256	294	*	*	*	0	102	2745
	256	440	382	282	(206)	209	*	5	*	*	*	0	1779
	(163)	531	185	191	516	175	19	5	13	*	*	92	1890
	229	451	347	391	325	163	8	10	*	8	19	99	2046
	38	(305)	145	187	(282)	241	6	6	*	*	*	41	1300
	196	457	168	439	377	353	58	45	4	*	0	71	2149
	167	336	296	(424)	(494)	395	12	*	*	*	5	40	2203
	203	458	330	266	560	344	43	23	0	1	7	0	2228
	165	424	309	(366)	(444)	(367)	89	0	*	*	*	18	2182
	89	178	147	343	272	273	130	*	*	*	0	58	1520
	(146)	174	230	420	333	328	32	10	*	*	0	1	1674
	144	500	262	349	293	205	1	*	*	*	*	*	1694
	144.3	399.5	295.9	317.1	391.8	293.7	68.6	8.8	1.2	*	*	15	1955
	164	400	296	317	392	294	67	9	1	1	1	38	1980

DATOS DE PRODUCCIÓN DE LA ZONA

U23

Hda. Normandía

1626

A. D. S.

ESTACION	PERIODO							TOTAL	RACIONALIDAD	R. A. D.
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE			
1954-2	(95.0)	(214.3)	(270.5)	(150.6)	(525.9)	(241.9)	(109.2)	(46.5)	1653.0	
1954-3	(79.7)	(288.3)	(154.9)	(210.4)	(348.3)	(249.9)	(32.4)	(1.9)	1365.8	
1954-4	(202.5)	(359.6)	(179.9)	(271.1)	(423.1)	(231.9)	(166.6)	(104.2)	1938.9	
1954-5	(93.6)	(217.9)	(389.5)	(137.5)	(317.8)	(123.9)	(10.6)	(5.6)	1295.4	
1954-6	(46.8)	(271.3)	(130.7)	(205.2)	(555.8)	(102.6)	(26.2)	(66.2)	1405.4	
1954-7	(195.8)	(406.2)	(215.2)	(384.5)	(288.1)	(220.3)	(13.4)	(80.0)	1803.5	
1954-8	(22.2)	(258.9)	(155.5)	(173.4)	(298.4)	(170.3)	(0.6)	(25.9)	1103.2	
1954-9	(333.2)	(266.9)	(63.2)	(264.7)	(455.7)	(373.4)	(27.6)	(22.9)	1717.6	
1954-10	(64.9)	(226.8)	(177.2)	(415.5)	(440.2)	(416.7)	(36.7)	(1.9)	1879.9	
1954-11	188.9	344.3	299.9	426.9	368.0	343.8	20.2	(0)	1991.8	
1954-12	160.0	129.0	129.0	523.0	370.0	245.0	81.0	(57.9)	1494.0	
1955-1	213.0	196.0	132.0	273.0	298.0	159.0	58.0	(93.0)	1413.0	
1955-2	106.0	377.0	299.0	406.0	410.0	379.0		(40.0)	2917.0	
1955-3	171.0	506.0	130.0	210.0	430.0	243.0	(6.0)		1698.0	
1955-4	58.0	158.0	250.0	290.0	524.0	264.0	64.0		1603.0	
TOTAL	135.4	281.4	196.4	276.1	404.1	250.3	43.5	36.3	1625.6	

ESTACION DE PRECIPITACION UADIRG

U 4

USULUTAN

1845

REPERENCIAL
REPERENCIAL

ESTACION	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
1	87	264	394	172	710	370	148	6	-	-	36	42	2229
2	137	382	311	210	388	318	40	0	-	23	0	6	1815
3	257	464	254	232	522	309	331	-	-	-	0	117	2485
4	84	422	519	276	312	359	0	24	-	-	-	2	1998
5	63	441	(152)	(267)	595	101	5	-	-	-	-	30	1667
6	101	406	313	385	245	279	22	0	0	0	8	17	1768
7	54	464	174	213	342	194	0	0	-	-	-	0	1341
8	133	302	79	173	414	396	75	5	-	-	38	5	1620
9	(122)	247	235	443	413	509	81	-	-	-	-	-	2050
10	140	372	381	450	(482)	188	64	0	-	-	0	0	2077
11	107	210	167	328	398	243	84	1	-	-	-	37	1575
12	319	227	175	196	290	310	46	-	-	-	-	0	1574
13	214	225	238	498	377	385	18	6	-	-	0	-	1961
14	70	430	179	189	555	194	-	-	-	-	1	-	1618
15	135	100	223	377	721	208	94	-	-	-	-	9	1867
	136	324	253	294	451	291	67	3	0	(2)	6	18	1845

CYADRO 14911

ESTACION: Sn. Antonio Arriba

ESTACION: Sn. Antonio Arriba

1627

ESTACION	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ALBO	ESBANCADO	NO RECLAMADA	ALBO	P. 13
61 - 62	(42)	(73)	(405)	(208)	(930)	(74)	(285)	.	.	.	.	2017	
62 - 63	(51)	(171)	(229)	(305)	(615)	(93)	(29)	.	.	.	.	1493	
63 - 64	(87)	(225)	(263)	(334)	(786)	(76)	(380)	.	.	.	.	2051	
64 - 65	(52)	(157)	(329)	(332)	(563)	(60)	(50)	.	.	.	.	1543	
65 - 66	(47)	(170)	(205)	(218)	(906)	(31)	(26)	.	(9)	.	.	1612	
66 - 67	(56)	(153)	(251)	(402)	(550)	(50)	(13)	.	(3)	.	.	1478	
67 - 68	(27)	(119)	(171)	(250)	(607)	(74)	(9)	.	.	.	.	1257	
68 - 69	(77)	(87)	(165)	(329)	(754)	(89)	(118)	.	(1)	.	.	1620	
69 - 70	(34)	(86)	(238)	(388)	(603)	(72)	(54)	.	(9)	.	.	1686	
70 - 71	(57)	(134)	(280)	(329)	(744)	(63)	(129)	.	(2)	.	.	1738	
71 - 72	(54)	(92)	(158)	(388)	(647)	(87)	(91)	.	.	.	.	1417	
72 - 73	(49)	(96)	(156)	(339)	(716)	(71)	(145)	.	(1)	.	.	1572	
73 - 74	(48)	(153)	(213)	(411)	(716)	(52)	(72)	.	.	.	.	1675	
74 - 75	32	120	18	256	642	41	.	.	.	.	.	1110	
75 - 76	50	123	438	395	755	98	225	.	5	.	.	2887	
	51	120	235	332	709	69	108	.	3	.	.	1627	

(76)	(154)	(250)	(300)	(270)	(214)	(210)				1904
(79)	(369)	(120)	(283)	(563)	(316)	(28)				1747
(125)	(316)	(157)	(311)	(636)	(279)	(312)				2138
(92)	(398)	(290)	(328)	(338)	(238)	(51)				1783
(70)	(418)	(229)	(238)	(674)	(124)	(16)				1659
(100)	(434)	(52)	(426)	(495)	(172)	(8)				1777
(43)	(278)	(80)	(209)	(328)	(230)	(82)				1423
(180)	(457)	(107)	(312)	(612)	(213)	(54)				2074
(53)	(257)	(168)	(407)	(536)	(233)	(22)				1820
(92)	(324)	(187)	(349)	(574)	(211)	(159)				2017
(89)	(258)	(119)	(390)	(509)	(274)	(158)				1976
(70)	(241)	(82)	(357)	(492)	(251)	(121)				1650
(84)	(102)	(148)	(424)	(543)	(234)	(74)				2083
102	2500	132	232	541	150	3				1707
62	119	168	423	591	305	248				1948
86	331	153	329	579	445	114				1837

ANEXO 1.2.11

ESTADO DE PROGRESO DE OBRAS DE INVERSIÓN

U14

Pto. Parada	1666		1666		1666		1666		1666		1666		
	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	
(157.5)	(316.0)	(191.0)	(258.0)	(400.7)	(263.6)	(51.6)	(11.6)	.	.	.	.	.	1640.0
(157.5)	(316.0)	(191.0)	(258.0)	(400.7)	(269.0)	(12.0)	.	.	.	.	.	.	1599.2
246.0	484.0	279.0	158.0	357.0	142.0	355.0	.	.	.	.	9.0	.	2046.0
(157.5)	(316.0)	(191.0)	(258.0)	244.0	210.0	2.0	8.0	.	.	.	.	.	1391.5
187.0	311.0	135.0	143.0	588.0	105.0	.	.	.	.	.	.	.	1389.0
221.0	422.0	329.0	298.0	310.0	231.0	22.0	.	.	.	.	30.0	.	1853.0
31.0	395.0	98.0	193.0	458.0	128.0	18.0	.	.	.	.	8.0	.	1335.0
199.0	326.0	54.0	203.0	327.0	162.0	12.0	2.0	.	.	.	.	.	1580.0
165.0	306.0	201.0	497.0	443.0	397.0	73.0	.	.	.	11.0	5.0	.	2098.0
117.0	392.0	324.0	342.0	420.0	204.0	21.0	11.0	.	.	.	79.0	.	1900.0
106.0	177.0	140.0	206.0	376.0	291.0	50.0	.	.	.	.	62.0	.	1405.0
181.0	187.0	93.0	175.0	216.0	335.0	70.0	.	.	.	.	103.0	.	1367.0
239.0	228.0	323.0	447.0	558.0	66.0	6.0	.	.	.	.	38.0	.	2300.0
199.0	501.0	97.0	149.0	482.0	283.0	1.0	.	.	.	3.0	3.0	.	1696.0
140.0	75.0	218.0	298.0	429.0	168.0	80.0	.	.	.	.	.	.	1358.0
157.5	316.0	191.0	258.0	400.7	243.6	51.6	11.6	.	.	.	.	.	1666.3

CUADRO N° 11

DIARIO DE PERDAS Y GANANCIAS DE LA U. G. A. L. (cont.)

ESTACION M. G.	Siglo. De Mañá		P. B. Años. 1862		DIBI-	TRABO	REVENIDA		U. G.			
	MAYO	JUNIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE			SENIOR	MARKED		ANIL	APRO	
01-62	70	275	423	144	587	(119)	215	1	36	35	30	2142
02-63	86	248	183	311	518	323	42	1	.	20	68	2042
03-64	187	268	264	260	392	207	248	.	28	4	3	1862
04-65	120	342	465	240	326	192	6	.	.	4	70	1680
05-66	134	390	203	254	678	255	62	.	.	.	1	1980
06-67	295	398	429	372	234	190	19	.	.	.	35	1991
07-68	26	505	198	188	434	444	6	.	3	11	85	1677
08-69	268	445	88	290	317	228	55	.	1	.	29	1702
09-70	250	422	189	470	505	495	67	4	.	9	42	2475
10-71	198	287	360	273	509	367	20	2	.	24	4	1945
11-72	109	329	174	296	463	327	117	.	.	2	1	1785
12-73	219	247	110	172	215	354	82	1	.	1	71	1443
01-74	293	328	155	458	334	293	17	.	.	.	90	1969
	78	369	126	165	540	168	3	5	.	26	21	1444
	155	81	225	338	538	312	114	1	.	.	.	1765
	157	821	240	272	444	277	70	3	15	9	35	1962

DATA OF DEPOSITARY IN THE U.S. GEOLOGICAL SURVEY

STATION	Fca. Stm. Trinidad	ADDITIONAL STATION	AUGUST	APPROXIMATE QUANTITY	1913	2078	mm	EMERSON	GENERAL MARKET	EXCHANGE RATES	U.S.	
10-10	38	348	378	147	580	295	243	(6)	2	4	25	4253
10-11	106	450	214	258	475	384	20	(6)	2	55	27	1996
10-12	200	454	270	151	398	311	278	(6)	2	8	122	2200
10-13	387	321	536	246	259	209	28	9	-	-	4	1999
10-14	164	361	217	266	574	206	68	8	-	-	42	1906
(222)	564	380	380	347	296	260	29	-	-	35	34	2168
	53	543	188	160	583	165	5	-	-	-	38	1705
	645	597	82	292	367	379	80	4	3	18	34	2191
	196	571	248	609	452	541	68	-	-	3	17	2705
	197	354	414	502	458	337	14	44	0	0	2	2322
	326	268	120	316	413	327	118	-	-	-	43	1986
	326	277	126	177	290	228	-	-	3	-	30	1457
	361	368	370	354	430	589	3	2	3	0	5	2495
	219	502	105	237	724	147	1	+	6	8	-	1949
	201	80	192	387	794	361	-	-	-	1	-	2016
	223	414	256	300	471	316	64	6	1	9	28	2078

CUADRO I.E II

DATE DE PRODUCCION DE ALBORNOS (en mil)

ESTACION Molinos (finis) 1740

ESTACION	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	VI
1-1-62	56	218	542	155	526	264	150	23	0	-	-	46	1980	
1-2-63	170	442	333	300	326	377	30	-	-	61	15	0	1974	
1-3-64	244	326	405	350	345	213	226	-	-	-	-	30	2139	
1-4-65	114	340	300	207	372	202	25	8	-	-	-	18	1586	
-	189	375	345	237	452	84	20	0	28	-	5	41	1776	
-	126	320	325	264	253	138	10	-	23	8	28	51	1546	
-	36	365	302	203	240	256	-	15	-	2	6	37	1461	
-	240	165	174	286	385	283	100	10	8	3	8	190	1852	
-	129	187	307	286	427	249	23	-	5	-	-	2	1583	
-	208	336	369	305	366	186	46	33	12	-	-	2	1883	
-	193	206	216	360	263	401	38	-	0	-	-	81	1769	
-	268	207	235	262	354	269	114	10	-	-	-	122	1841	
-	129	229	276	326	229	198	41	2	8	-	43	20	1501	
-	137	393	307	328	325	138	15	-	8	-	-	-	1651	
-	244	185	332	337	312	57	-	-	-	-	-	36	1566	
-	153	288	307	281	340	238	60	7	6	6	7	45	1740	

NOMBRE	ZACATECOLUCA		P. 15. ASESOR		2162.0 mm		REPOSICIÓN				
	PLAZA	UNIDAD	ASISTENTE	ACTIVIDAD	UNIDAD	PLAZA	ACTIVIDAD	PLAZA			
1	201	210	558	167	547	329	328	14	14	2268	
2	332	460	316	348	453	460	18	0	9	16	2421
3	336	418	317	287	539	460	337	0	0	0	2864
4	273	430	477	299	346	243	1	4	0	0	2097
5	226	472	212	215	652	166	10	5	18	0	2028
6	218	448	358	380	346	299	16	8	0	0	2101
7	230	311	164	381	490	476	100	58	0	5	2243
8	236	362	334	397	560	513	39	0	0	5	2446
9	58	289	381	302	450	351	13	62	5	0	1895
10	214	392	342	337	522	310	152	0	0	0	2279
11	199	143	135	350	288	253	96	0	0	0	1601
12	118	414	237	378	403	313	20	11	5	0	1941
13	208	643	164	305	574	217	23	0	20	0	2204
14	109	200	187	323	451	410	133	0	0	0	1842
15	98	506	299	319	472	343	85	12	3	1	2162
16	203	380	299	319	472	343	85	12	3	1	2162

CANTOS DE PROCELIBATO EN EL BUAU (cont.)

P. 3

CANTON	Rosario de la Paz		15 años		1672.0 mm		NOMENCLATURA	P. 3				
	1911	1912	1911	1912	1911	1912						
1	181	186	439	229	453	294	131	12	.	.	1	1876
2	198	407	225	177	357	289	4	.	17	.	6	1620
3	289	234	281	252	429	276	131	.	.	.	136	2028
4	156	438	452	377	208	276	49	15	.	.	25	1996
5	66	461	223	134	416	132	14	2	.	.	36	1484
6	222	416	272	431	312	188	0	0	.	15	85	1941
7	36	237	185	101	304	194	3	3	.	.	18	1091
8	281	176	127	209	376	307	55	15	.	.	167	1713
9	145	226	222	436	357	276	49	5	18	.	4	1738
10	145	311	330	242	488	276	49	4	.	.	17	1863
11	145	329	239	320	335	350	36	.	.	.	38	1793
12	88	153	130	273	413	268	94	.	.	.	56	1475
13	150	223	349	453	416	312	52	.	16	.	.	2006
14	71	297	66	.	.	.	.	.	.	.	16	450
15	137	195	297	431	381	386	149	.	.	.	76	1996
16	150	283	256	271	350	265	64	4	2	1	1	1672

CUADRO N° 11

DATOS DE PRECIPITACION EN SUAL (mm)

ESTACION A. C.	La Mercedura						1,730 mm		ROSENCLAYANA		P. A.			
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO		MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
1.1 - 1.2	62	127	315	141	467	126	133	4	3.1	.	2.6	14	1394	
1.2 - 1.3	36	243	103	263	(426.2)	311	17	.	.	33	2.6	42.3	1477	
1.3 - 1.5	106.7	320	218.4	314.8	(426.2)	(242.4)	(45.2)	(5.9)	3.1	2.9	.	42.3	1727.5	
1.4 - 1.5	(106.7)	321	536	205	197	275	13	(5.9)	31.0	1	.	42.3	1733.9	
1.5 - 1.6	(106.7)	320	(218.4)	(314.8)	(426.2)	125	.	0	.	.	28	71	1610.1	
1.6 - 1.7	117	440	173	345	403	123	0	20	0	.	0	104	1725	
1.7 - 1.8	23	295	109	107	371	159	0	2	0	.	0	43	1109	
1.8 - 1.9	378	854	119	259	434	279	25	13	0	.	0	8	2371	
1.9 - 2.0	75	262	266	367	500	369	22	.	0	4	0	1	1836	
1.9 - 2.0	144	285	290	386	290	152	45	29	3.1	0	2.6	42.3	1669	
2.1	38	271	212	400	750	369	48	.	.	0	0	78	2173	
2.2	150	194	76	318	242	279	80	0	.	.	.	78	1417	
2.3	114	398	230	517	(426.2)	335	22	3	3	.	1	.	2049	
2.4	37	150	165	470	608	279	47	.	.	.	.	76	1802	
2.4 - 2.5	106.7	320	218.4	314.8	(426.2)	(242.4)	(45.2)	(5.9)	3.1	2.9	2.6	42.3	1705	
2.4 - 2.5	106.7	320	218.4	314.8	426.2	242.4	45.2	5.9	3.1	2.9	2.6	42.3	1730.5	

CUADRO 12 II

CUADRO DE PLANTACION DE SIDA (km)

REGION	Sn. Mauricio	1910				TOTAL	FRENTE PLANTACION	MATERIALES	U 8		
		1910	1910	1910	1910						
108	278	153	232	352	238	22	3	-	17	30	1349
108	278	153	232	352	238	22	3	1	5	23	1418
108	278	153	232	352	238	22	3	1	5	23	1418
108	278	153	232	289	200	18	12	1	5	23	1290
114	334	182	185	555	265	28	-	-	-	-	1686
108	464	310	296	277	138	22	3	-	-	23	1705
22	459	214	152	410	173	17	2	-	15	72	1443
162	428	67	195	425	269	47	-	-	-	11	1653
168	454	262	450	579	441	58	3	-	30	40	2435
237	391	451	548	366	269	6	30	2	2	6	2317
174	269	159	384	422	303	12	-	-	2	17	1839
123	267	119	305	292	225	33	-	-	-	116	1286
250	384	233	336	490	684	43	-	3	-	22	2421
191	591	105	212	603	221	-	-	6	10	5	1928
121	127	194	506	564	400	83	-	4	-	-	2024
108	278	153	232	352	238	22	3	1	5	23	1910

DATOS DE PRECIPITACION EN B. G. U. S. I. (mm)

Cód.	Sta. C. Parítillo	1764.0 mm												Año	V. G.
		MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL		
76	201	419	125	475	244	162	11	.	.	.	32	1745			
94	336	337	218	285	269	23	.	0	14	30	2	1608			
239	331	261	238	423	340	314	.	.	.	.	158	2304		
113	214	522	274	283	301	4	14	.	2	.	1	1728			
131	415	143	251	444	112	19	9	1	.	.	97	1622			
182	510	252	381	274	175	9	3	.	0	12	75	1873			
19	404	184	180	286	130	9	2	.	.	.	13	1227			
242	398	124	247	304	326	44	13	.	.	10	19	1727			
157	350	352	311	426	458	25	2	4	.	2	.	2087			
248	370	311	279	366	428	26	14	2	.	.	14	2058			
244	205	267	244	414	287	55	1	3	.	0	53	1773			
114	253	131	279	218	214	127	0	.	.	0	113	1449			
227	326	274	362	361	315	27	8	0	0	5	7	1912			
114	422	109	208	449	131	.	.	5	.	8	.	1446			
130	110	317	402	468	338	109	.	.	.	.	43	1937		
155	323	267	266	366	271	64	5	1	1	5	42	1764			

DATOS DE PRECIPITACION MENSUAL (mm)

ESTACION La Cumbre 1973

AÑO	NOMENCLATURA													
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	AÑO	OBSE RVACIONES
61-62	146	221	358	315	591	382	177	2	-	11	27	2097		
62-63	45	312	232	144	328	157	56	-	-	15	30	1327		
63-64	233	393	306	216	404	170	319	-	-	-	5	2246		
64-65	173	259	404	137	271	324	36	4	-	21	164	1503		
65-66	92	234	125	184	446	49	6	-	-	-	-	1178		
66-67	135	361	160	269	262	163	16	8	3	-	42	1440		
67-68	39	360	156	338	248	145	20	-	-	2	69	1155		
68-69	186	340	63	303	470	325	57	11	-	-	-	1551		
69-70	165	410	262	362	303	443	69	-	-	17	3	1546		
70-71	144	437	389	517	350	167	30	3	-	-	4	2065		
71-72	114	246	155	379	329	240	37	-	-	-	-	1630		
72-73	270	179	197	187	372	241	37	-	-	-	164	1603		
73-74	178	393	182	411	393	32	29	1	-	3	15	2187		
74-75	79	441	144	196	408	173	5	-	-	-	1	1596		
75-76	99	68	168	314	341	242	72	-	1	-	-	1476		
Σ	146	308	211	390	399	399	41	-	-	3	36	1674		

CUADRO N° 12

PRECIPITACION POLIGONOS DE THIESEN					
ESTACION	INDICE	AREA Km ²	% AREA	PRECIPITAC. mm	% A. P.
MONTAÑA	U 1	25.3	1.34	1740	93.75
LA ROSA	U 2	195.5	7.73	1460	149.17
LA ROSA SUR	U 3	229.18	8.4	1734	147.13
LA ROSA N. O.	U 4	102.9	4.34	2117	91.05
LA ROSA DEL N. O.	U 5	74.9	2.75	1477	141.24
LA ROSA DEL S. O.	U 6	111.7	7.10	1730	137.49
LA ROSA DEL N. E.	U 7	58.3	2.15	1639	50.91
LA ROSA DEL S. E.	U 8	137.3	5.07	1936	92.77
LA ROSA DEL N. O. 2	U 9	161.6	5.92	1657	61.87
LA ROSA DEL S. O. 2	U 10	259.8	9.39	1815	175.61
LA ROSA DEL S. E. 2	U 11	101.6	3.73	1934	71.57
LA ROSA DEL N. O. 3	U 12	34.8	1.28	1745	70.29
LA ROSA DEL S. O. 3	U 13	14.5	0.54	1855	9.93
LA ROSA DEL S. E. 3	U 14	31.9	1.25	1866	88.34
LA ROSA DEL N. O. 4	U 15	118.6	7.70	2078	159.75
LA ROSA DEL S. O. 4	U 16	193.4	7.14	1721	125.62
LA ROSA DEL S. E. 4	U 17	81.4	3.00	1673	59.23
LA ROSA DEL N. O. 5	U 18	194.5	7.17	1666	119.37
LA ROSA DEL S. O. 5	U 19	115.3	4.29	1676	104.4
		2770.00	100.00		1792.90

PRECIPITACION PROMEDIO - MILIMETROS LIQUETAS

Precip. promedio anual (mm)	Asociación Boyeros	Precip. promedio anual (mm)	S. A. P.
1250	63.7		43.7
1350	104.6	89	67.5
1450	121.9	59	74.2
1550	138.4	74	82.9
1650	213.6	83	105.9
1750	226.4	92	123.3
1850	278.4	10.27	129.5
1950	116.8	4.31	56.6
2050	41.8	1.54	17.6
2150	14.3	0.57	1.64
2250	70.7	3.29	34.6
2350	137.7	6.19	100.
2450	207.2	10.30	125.4
2550	184.5	4.53	83.5
2650	605.0	22.87	310.3
2750	97.7	3.21	70.4
2850		0.71	11.6
TOTA	2710.0	90.00	317.7

CUADRO Nº 14

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL °C														
ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	AÑO	PERIODO DE REGISTRO
SANTA CRUZ PORCILLO	26.1	26.5	27.4	28.1	28.0	26.8	27.0	26.3	26.2	26.1	25.9	25.7	26.7	20 AÑOS
SANTIAGO DE MARIA	21.3	21.6	22.5	23.0	22.6	21.9	22.6	22.3	21.5	21.5	21.3	21.1	21.9	17 AÑOS

PORCENTAJE MENSUAL DE HORAS LUZ SOLAR

SANTA CRUZ PORCILLO	9.6	10.1	9.8	8.9	6.2	7.2	8.4	8.2	7.0	7.5	8.9	9.6	8.4	18 AÑOS
SAN TIAGO DE MARIA	9.4	9.6	9.4	8.2	6.8	5.8	8.0	7.7	6.8	6.3	8.2	9.2	8.0	18 AÑOS

REFERENCIA: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

CUADRO N° 15

ZONA NOROCCIDENTE				
Cultivo	Área	KG	KA	KA/HA T
Papas	207.3	0.85	432.55	0.207
Cebollas	201.00	0.80	777.80	0.387
Cilantro	943.10	0.75	182.33	0.155
Alcachofas	21.80	0.70	42.26	0.037
Lechuga Cultivos	16.90	0.65	10.99	0.064
Frijoles	3.70	0.75	0.55	0.010
TOTAL	1123.8			0.808

Coefficiente de cultivo en campo Z. N.O.: 0.60

ZONA SUR				
Cultivo	Área	KG	KA	KA/HA T
Alcachofas	542.90	0.70	380.03	0.247
Papas	487.10	0.65	571.64	0.272
Berros Salsas	366.2	0.75	274.75	0.179
Cebollas	53.75	0.80	66.2	0.043
Frijoles Lentijas	54.25	0.65	35.26	0.023
Cuajalote	105.70	0.90	43.83	0.027
Papas	2.5	0.75	3.94	0.015
TOTAL	1508.35			0.790

Coefficiente de cultivo en campo Z. S.: 0.39

CUADRO N° 16

EVAPOTRANSPIRACION (mm)					
EPOCA	MES	Potencial		Real	
		NORTE	SUR	NORTE	SUR
HUMEDA	MAYO	123.92	163.29	94.14	129.00
	JUNIO	105.41	138.91	84.33	109.74
	JULIO	144.27	172.37	115.82	104.57
	AGOSTO	139.52	167.51	111.62	132.33
	SEPTIEMBRE	102.54	139.05	82.03	109.85
	OCTUBRE	113.34	148.78	90.62	117.54
SECA	TOTAL Epoca Seca	355.8	254.8	355.8	254.8
M				939.00	957.84
EVAP. REAL Total de la zona = $939.00 \times 0.43 + 957.84 \times 0.57 = 994.74$					

CUADRO N° 17
 PERIODOS DE INFORMACION DISPONIBLES PARA EL ESTUDIO DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL

ESTACION	RIO	CUENCA	AREA(Km ²)	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	OBSERVA- CIONES
LOS AMATES	JIBOA	JIBOA	413.9	<hr/>															AREA EN LA ZONA 247.1 Km ²
EL TRAPECIO	COMAPA	COMAPA	51.6																
LAS GUARUMAS	JALPONGA	JALPONGA	112.4																
LOS LIMONES	HUISCOYOLAPA	HUISCOYOLAPA	54.3																
LA FOGATA	AMAYO	AMAYO	44.8																
LA TAPADA	ACOMUNCA	ACOMUNCA	30.0																
LA REFORMA	SAPUYO	SAPUYO	33.2																
BARRIONUEVO	AMATE	AMATE	92.6																
LA CRUZADILLA	SAN JOSE	SAN JOSE	22.1																
EL PLAYON	UJUSHTE	UJUSHTE	44.1																
LOS TIBUILOTES	LA BOLSA	LA BOLSA	120.0																
SAN MARCOS	LEMPA	LEMPA	18176.0																<hr/>															AREA EN LA ZONA 428 Km^{2}
LA CEIBA	JALPONGA	JALPONGA	58.0																

CUADRO N° 18

ESCORRENTIA SUPERFICIAL

CAUDALES PROMEDIO MENSUALES m³ /seg PERIODO 1961-1975

RIO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
Jiboa *	3.11	5.87	7.76	11.46	14.22	11.52	4.93	3.24	2.42	1.92	1.52	1.52
Comapa	0.67	0.63	1.62	1.18	1.07	1.49	0.54	0.12	0.05	0.03	0.02	0.02
Jalponga	1.47	1.36	3.52	2.56	2.33	3.25	1.21	0.38	0.22	0.18	0.15	0.12
Huiscayolapa	0.71	0.66	1.70	1.24	1.13	1.57	0.13	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
Amaro	0.25	0.47	0.72	1.05	1.14	0.93	0.42	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03
Acomunca	0.17	0.32	0.48	0.71	0.76	0.62	0.87	0.15	0.03	0.01	0.00	0.00
Sapuyo	0.18	0.35	0.53	0.78	0.84	0.69	0.92	0.20	0.08	0.06	0.05	0.05
Amate	0.67	1.15	1.66	2.61	3.03	2.42	1.12	0.33	0.14	0.09	0.07	0.05
S. Jose	0.16	0.27	0.40	0.62	0.73	0.58	0.25	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02
Ujushte	0.30	0.44	0.71	1.04	1.35	1.06	0.53	0.21	0.17	0.15	0.07	0.06
La Bolsa	0.82	1.20	1.94	2.84	3.67	2.89	1.70	0.30	0.16	0.12	0.10	0.08
Lempa *	144.90	496.00	714.20	718.40	1030.80	750.60	231.20	154.50	108.00	97.10	82.90	80.10
Jalponga	(1.28)	(1.94)	(1.18)	(1.31)	(0.98)	(5.96)	(0.66)	(0.39)	(0.27)	(0.21)	(0.18)	(0.18)

CUADRO N° 19

ECUACIONES DE RECESION	
COMAPA	$Q_T = 0.101 e^{-5.29 \times 10^{-3}t} + q$
JALPONGA	$Q_T = 0.341 e^{-5.92 \times 10^{-3}t} + q$
HUISCOYOLAPA	$Q_T = 0.0235 e^{-6.53 \times 10^{-3}t} + q$
AMAYO	$Q_T = 0.0725 e^{-6.74 \times 10^{-3}t} + q$
ACOMUNCA	$Q_T = 0.361 e^{-1.65 \times 10^{-3}t} + q$
AMATE	$Q_T = 0.268 e^{-3.56 \times 10^{-3}t} + q$
SAN JOSE	$Q_T = 0.117 e^{-3.42 \times 10^{-3}t} + q$
LA BOLSA	$Q_T = 0.301 e^{-4.15 \times 10^{-3}t} + q$

CUADRO N° 20

ESCORRENTIA SUPERFICIAL LAMINA PROMEDIO MENSUAL EN mm

RIO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
Jihoa *	20.13	36.77	50.21	74.15	89.06	74.56	30.85	20.98	15.65	11.21	9.85	9.54
Comapa	34.69	31.59	84.11	61.24	53.68	77.33	27.23	6.34	2.54	1.55	1.24	0.91
Jalponga	35.05	31.41	83.90	61.03	57.74	77.40	27.88	8.96	5.29	3.79	3.48	2.79
Huiscoyolapa	34.99	31.41	83.79	61.14	53.96	77.53	6.21	1.33	0.74	0.50	0.44	0.33
Amayo	14.96	27.23	43.08	62.72	65.85	55.58	24.31	4.67	2.75	2.10	1.96	1.62
Acomunca	15.33	27.67	43.00	63.33	65.67	55.33	74.83	13.13	2.40	0.80	0.37	0.10
Sapuyó	14.46	27.41	42.77	62.95	65.66	55.72	71.69	16.27	6.33	4.52	3.92	3.92
Amate	19.33	32.18	48.06	75.49	84.77	69.98	31.46	9.46	4.08	2.32	1.91	1.34
S. Jose	19.46	31.67	48.42	75.11	84.62	70.14	28.87	10.05	5.34	3.30	2.53	1.77
Ujushte	18.14	25.85	43.08	63.27	79.37	64.40	31.07	12.70	10.43	8.16	4.31	3.63
La Bolsa	18.33	25.92	43.33	63.42	79.25	64.50	36.66	6.58	3.55	2.50	2.17	1.62
Lempa *	21.35	70.73	105.24	105.86	147.00	110.61	32.97	22.77	15.92	12.92	12.22	11.42
Jalponga	(59.14)	(86.72)	(54.48)	(60.52)	(43.79)	(275.17)	(29.62)	(18.19)	(12.66)	(8.59)	(8.31)	(8.00)

CUADRO N°21

ESCORRENTIA SUPERFICIAL

VOLUMEN MENSUAL $m^3 \times 10^6$

RIO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
Jiboa *	8.33	15.22	20.78	30.69	36.86	30.86	12.77	8.68	6.48	4.64	4.08	3.95
Comapa	1.79	1.63	4.34	3.16	2.77	3.99	1.41	0.33	0.13	0.13	0.06	0.05
Jalponga	3.94	3.53	9.43	6.86	6.04	8.70	3.13	1.01	0.60	0.43	0.39	0.31
Huiscoyolapa	1.90	1.71	4.55	3.32	2.93	4.21	0.34	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02
Amayo	0.67	1.22	1.93	2.81	2.95	2.49	1.09	0.21	0.12	0.09	0.09	0.07
Acomunca	0.46	0.83	1.29	1.90	1.97	1.66	2.25	0.39	0.07	0.02	0.01	0.003
Sapuyo	0.48	0.91	1.42	2.09	2.18	1.85	2.38	0.54	0.21	0.15	0.13	0.13
Amate	1.79	2.98	4.45	6.99	7.85	6.48	2.91	0.88	0.38	0.22	0.18	0.12
S. Jose	0.43	0.70	1.07	1.66	1.87	1.55	0.64	0.22	0.12	0.07	0.06	0.04
Ujushte	0.80	1.14	1.90	2.79	3.50	2.84	1.37	0.56	0.46	0.36	0.19	0.16
La Bolsa	2.20	3.11	5.20	7.61	9.51	7.74	4.40	0.79	0.43	0.30	0.26	0.19
Lempa *	388.10	1285.63	1912.91	1924.16	2671.83	2010.41	599.27	413.81	289.27	234.90	222.04	207.62
Jalponga	(3.43)	(5.03)	(3.16)	(3.15)	(2.54)	(15.96)	(1.72)	(1.06)	(0.73)	(0.50)	(0.48)	(0.46)

CUADRO N° 22

Escorrentía total mm	Escorrentía subterránea mm *	Escorrentía superficial mm
742.43	299.36	443.07

* Este dato es tomado de la parte correspondiente a infiltración.

PLANICIE COSTERA
POZOS DE OBSERVACION
REGISTRO DE NIVELES FREATICOS
Año Hidrológico (1976 - 1977)

Pozo No.	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	PROM.
1	65.04	65.29	65.33	65.06	65.15	65.15	65.06	64.87	64.94	65.04	64.76	64.78	65.02
2	8.44	9.30	9.27	8.78	8.58	-	8.62	8.59	8.30	8.29	8.22	8.28	8.61
3	2.52	3.53	3.64	2.66	2.68	2.63	2.49	2.56	2.34	2.25	2.35	1.95	2.63
4	37.05	36.86	36.81	36.86	36.74	36.82	36.70	36.49	38.14	36.57	36.49	36.27	36.82
5	138.87	-	138.95	138.82	-	-	136.72	136.88	136.78	136.29	Fué sustituido		137.76
6	38.43	38.79	38.54	38.59	38.50	38.49	38.28	37.76	38.80	38.39	38.50	38.42	38.43
7	102.92	103.27	103.30	103.09	103.06	-	102.84	102.91	103.46	102.92	102.76	103.33	103.08
8	33.06	32.51	33.00	33.02	32.95	33.59	33.09	32.96	33.39	32.96	32.95	32.78	32.02
9	-	9.17	9.22	7.19	10.67	10.70	6.30	8.98	8.92	6.18	6.06	6.04	8.13
10	2.49	4.78	4.80	3.73	6.64	4.70	3.65	3.21	3.14	2.77	2.70	2.55	3.60
11	3.59	3.66	3.76	4.80	4.90	4.86	4.61	4.07	3.81	3.78	3.58	3.46	4.07
12	7.45	7.51	7.94	7.81	8.10	8.29	8.05	7.91	7.59	7.48	7.25	7.15	7.71
13	8.53	9.62	9.87	9.28	-	9.65	9.34	9.00	8.65	8.54	8.36	8.28	9.01
14	14.33	14.31	15.32	14.91	14.80	15.08	14.70	14.64	14.68	14.24	14.50	14.10	14.63
15	31.36	31.45	31.77	31.36	31.90	31.65	31.75	31.39	31.25	31.39	31.21	31.40	31.49
16	33.55	33.83	33.74	33.44	34.01	30.61	30.76	32.85	32.91	31.66	31.73	32.07	32.57
17	187.90	187.68	187.92	187.79	188.22	188.10	188.00	187.88	187.92	187.79	187.71	187.72	187.89
18	229.29	229.79	229.19	229.37	230.22	229.90	229.95	229.10	229.05	229.28	229.20	228.75	229.42

Continúa

Pozo No.	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	PROM.
19	40.04	40.54	39.93	40.32	40.42	40.39	37.60	40.05	40.10	39.95	39.94	39.93	39.93
20	-	-	-	-	-	13.64	13.07	12.79	12.60	12.34	12.14	11.38	12.69
21	5.51	5.57	5.62	5.86	6.15	6.07	4.77	5.77	5.82	5.74	5.62	5.30	5.65
22	2.73	2.90	2.96	3.31	3.74	3.56	3.56	3.43	3.36	3.07	2.80	2.60	3.17
23	1.18	1.28	1.33	0.78	1.10	1.10	1.29	1.13	1.23	0.90	0.77	1.10	1.10
24	-	-	-	-	-	38.10	38.30	37.92	37.60	37.44	37.12	36.93	37.51
25	108.49	108.69	108.71	108.56	109.04	108.64	108.24	108.26	108.31	108.14	108.00	108.37	108.45
26	456.37	459.30	458.50	458.82	464.57	463.00	461.20	460.16	478.31	477.68	465.00	477.10	465.00
27	128.79	130.40	130.45	128.85	131.80	130.88	130.68	130.02	129.82	128.50	128.44	127.67	129.69
28	7.45	7.87	7.56	7.14	7.63	7.36	6.47	6.29	6.77	6.48	7.09	6.48	7.09
29	2.38	2.45	3.53	2.97	2.65	2.65	2.95	2.76	2.49	2.39	2.36	2.21	2.65
30	-	-	-	-	14.15	14.19	13.69	13.34	12.87	12.68	12.73	11.98	13.16
31	-	-	-	-	20.69	20.59	20.22	19.94	19.84	19.80	19.74	19.65	20.03
32	-	-	-	-	33.81	33.60	33.08	32.80	32.98	32.97	32.96	32.76	33.26
33	48.81	48.18	49.25	47.99	48.88	48.54	46.81	47.14	47.19	48.10	47.70	50.82	48.28
34	2.58	2.66	3.27	3.24	4.02	3.46	5.41	3.46	3.14	2.39	2.46	1.64	3.14
35	31.23	31.32	31.34	31.35	31.33	31.22	31.32	31.19	31.32	31.82	31.36	31.28	31.32
36	2.18	3.29	2.89	2.92	2.84	3.20	2.95	2.81	2.80	2.49	2.30	2.10	2.73
37	37.76	37.39	37.33	37.17	37.59	37.61	37.62	37.50	37.50	37.36	37.16	8.96	37.41
38	29.96	29.96	29.96	29.96	29.96	30.60	30.30	30.08	29.74	29.71	29.43	29.85	29.96
39	38.17	38.07	38.65	38.57	39.62	38.67	38.52	38.22	38.39	38.04	37.88	37.84	38.39

CUADRO Nº 25

Calidad del Agua para Consumo Humano
Dirección General de Salud de El Salvador

Substancia	Concentración máxima aceptable	Concentración máxima tolerable	Inconvenientes que puede tener
PH	6.5 ppm	9.2	Sabores-corrosión
Color real	5 U	20 U ^x	Mal aspecto
Turbidez	5 U	25 U ^{xx}	Irritación gastro-intestinal
Sabor	Agradable	-	-
Olor	Inodoro	-	-
Alcalinidad Total	250 ppm	400 ppm	Menores de 25 ppm Problemas de Flo-culación.
Calcio	75 ppm	200 ppm	Formación excesiva de incrustaciones
Magnesio	50 ppm	150 ppm	Sabor y coloración
Dureza (CaCO ₃)	250 ppm	500 ppm	Sabor
Sulfatos (SO ₄)	200 ppm	400 ppm	Irritación gastro-intestinal
Cloruros	200 ppm	600 ppm	Sabor
Hierro	0.3 "	1 "	Sabor Coloración Proliferación de Ferro bacterias
Manganeso	0.05 "	0.5 "	Sabor Coloración Turbidez.
Fluor <u>1/</u>	0.6 "	1.4 "	Caries dentales abajo de 0.6 Manchas en los dientes más de 1.5
Cobre	0.05 "	1.5	Gusto astringente Coloración
Nitrato <u>2/</u>	10 "	45	Puede producir alteración de la sangre en los niños de corta edad.
Sólidos disueltos	300 "	500	Sabor, olor, turbidez e irritación Gastrointestinal
Sólidos totales	500 "	1500	Sabor, turbidez,olor, Irritac.Gastrointest.

x Unidades de la escala platino-cobalto

xx Unidades turbidimétricas

1/ Los límites dependen de la temperatura de la zona

2/ Si el contenido de nitratos excede los límites, se debe advertir al público de los peligros del agua para alimentación infantil.

CUADRO Nº 26

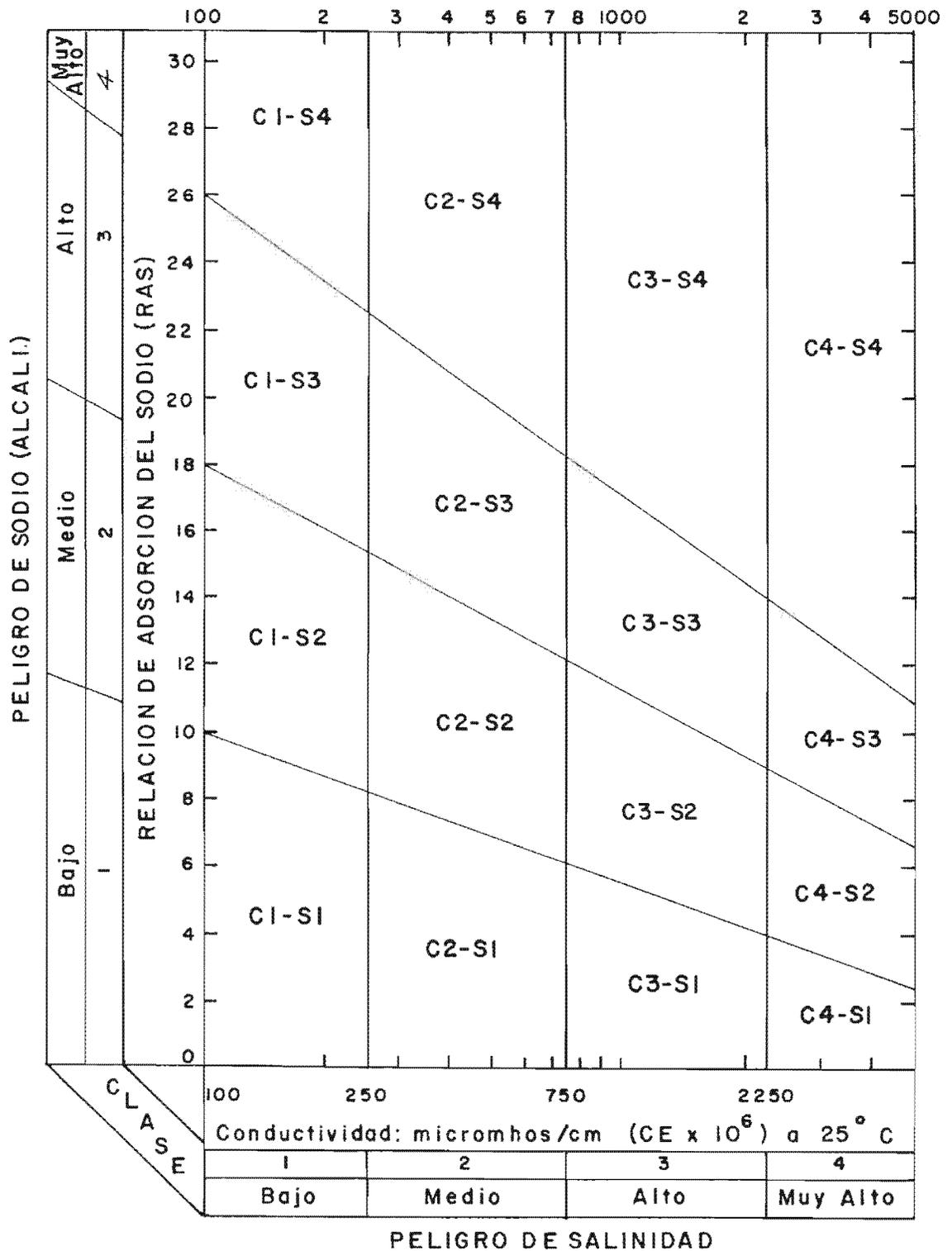


DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

CUADRO Nº 27

Conductividad

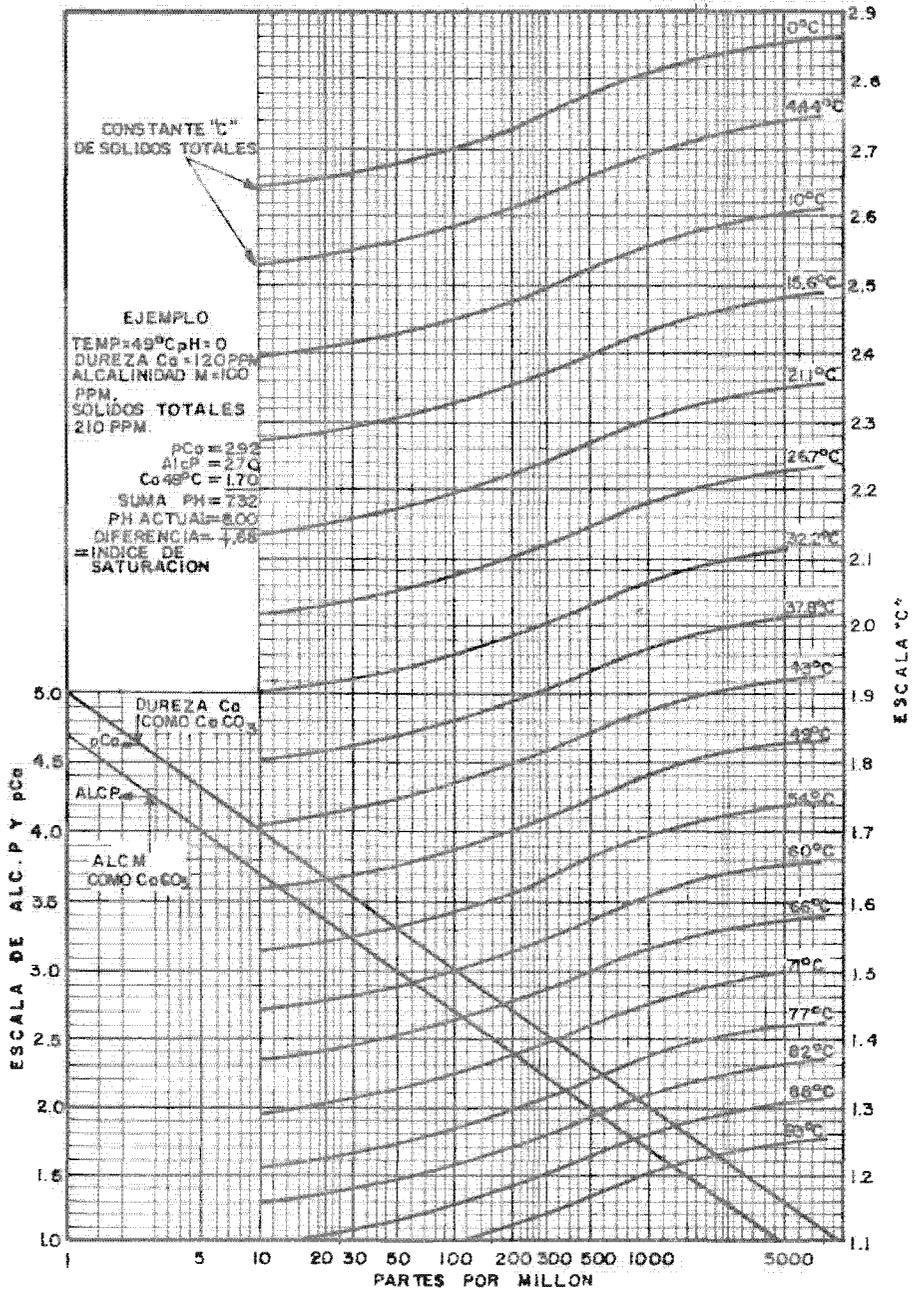
Clave de Conductividad en el Diagrama	Grado de Salinidad	Usos	Desarrollo de Salinidad
C1	Agua de baja salinidad	Para la mayor parte de cultivos	Bajo a nulo
C2	Agua de Salinidad	Puede usarse siempre y cuando haya grado moderado de lavado	Probabilidad
C3	Agua altamente salina	No puede usarse - en suelos de drenaje deficiente	Mucha probabilidad
C4	Agua muy altamente salina	No es apropiada para riego	Casi siempre

Relación de Absorción del Sodio (RAS)

Clave para RAS	Grado del Sodio	Usos	Peligro de Sodificación
S1	Agua baja en sodio	Puede usarse para riego en la mayoría de los suelos	Bajo casi nulo
S2	Agua media en sodio	Peligro para suelos de textura fina pero no a suelos - tierra gruesa	Haya probabilidad
S3	Agua alta en sodio	Inadecuada para riego	Casi siempre
S4	Agua muy alta en sodio	Inadecuada para riego	Siempre

CUADRO Nº 28

ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS PARA SISTEMAS DE RECIRCULACION



Gráfica del índice de saturación Langlier.

GRAFICA N° 2

Prec.
Acom.
2000 -

Precipitación
Curva doble másica
(Antes de relleno)

Usulután

VFS

Zacatecoluca

1500 -

1000 -

500 -

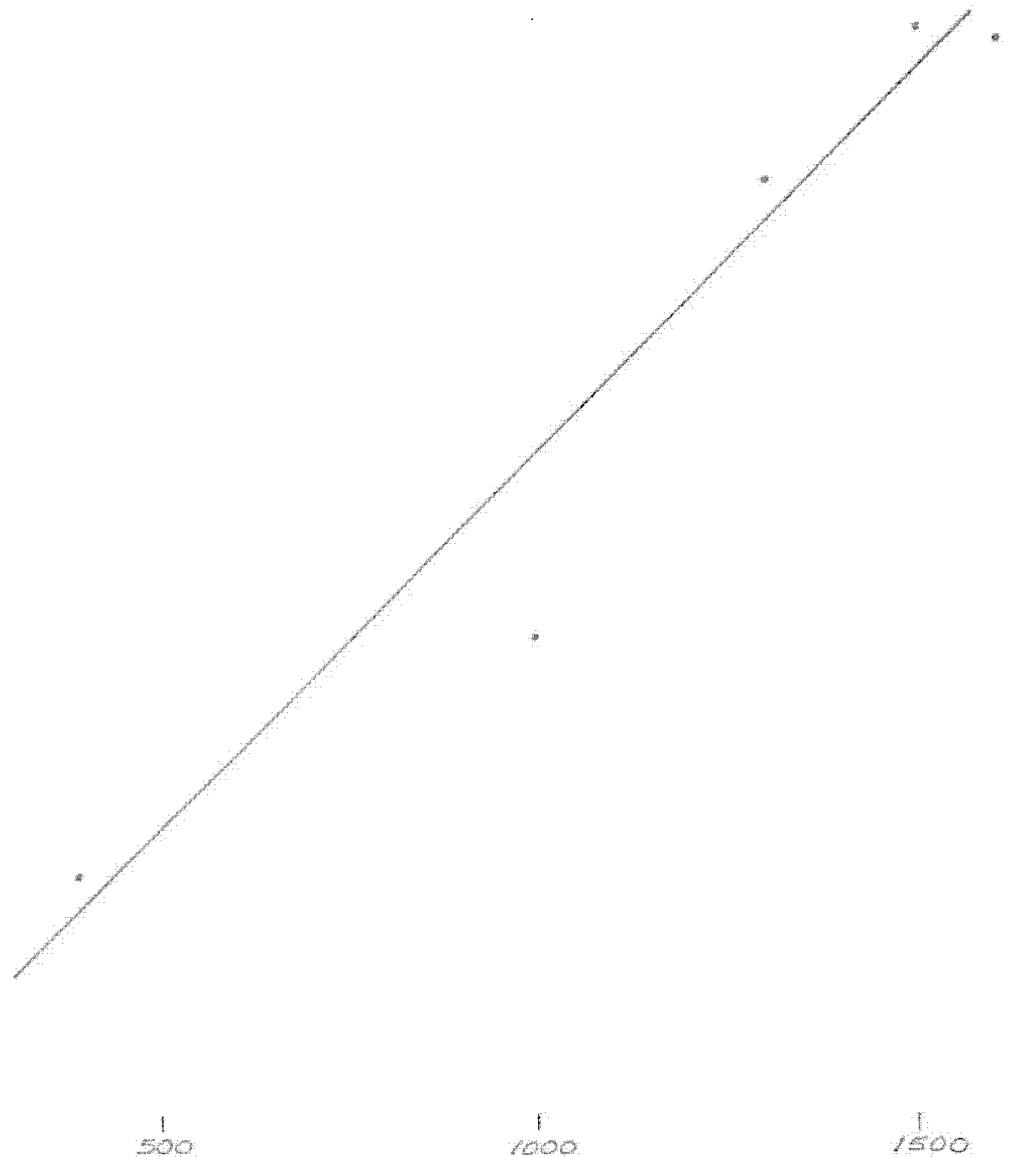
0

500

1000

1500

Precipitación Acumulada



GRAFICA N° 3

Prec
Acum.
2000 -

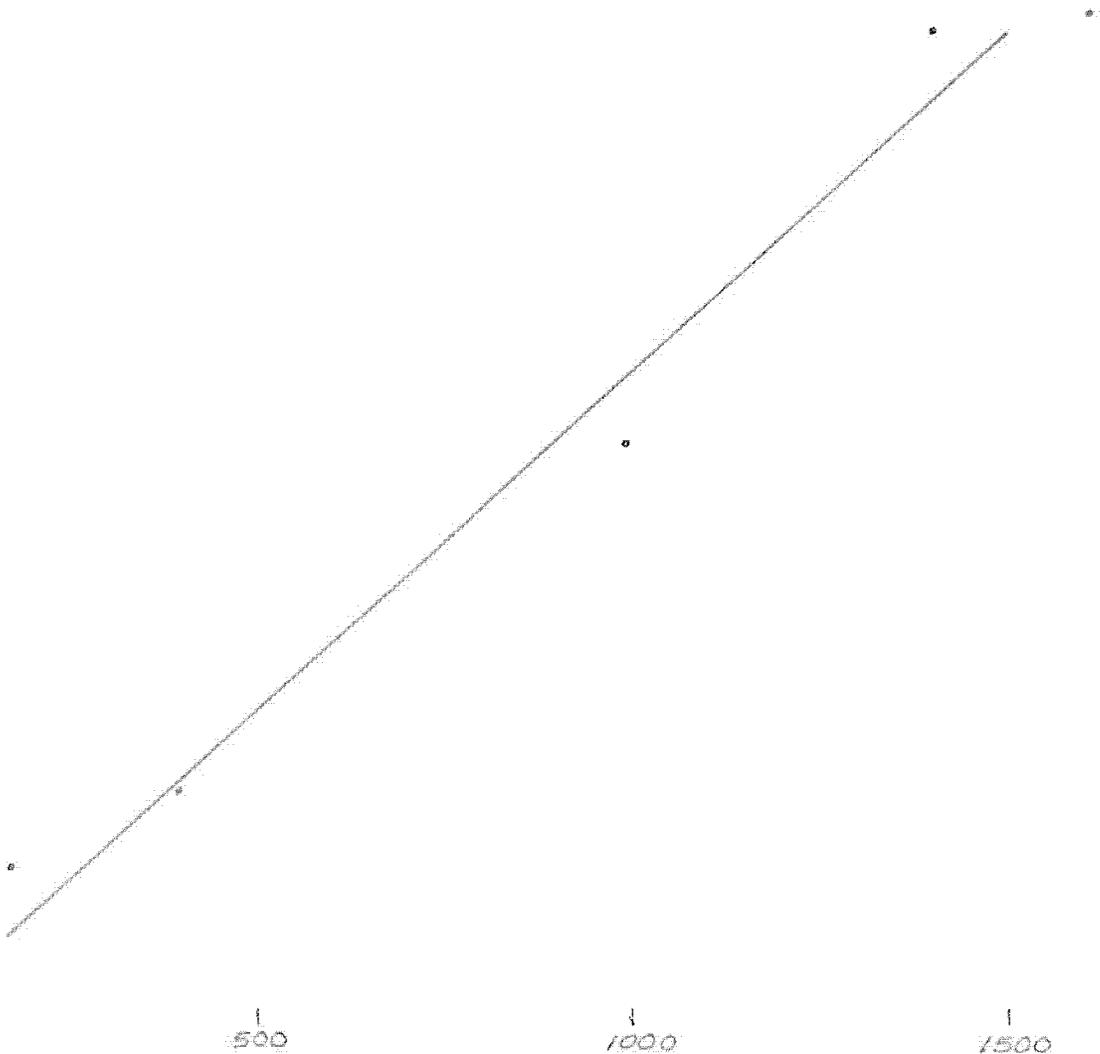
Precipitación
Curva doble másica
(Antes de relleno)

Santa Cruz Porrillo
Zacatecoluca

500 -

1000 -

500 -



Precipitación Acumulada

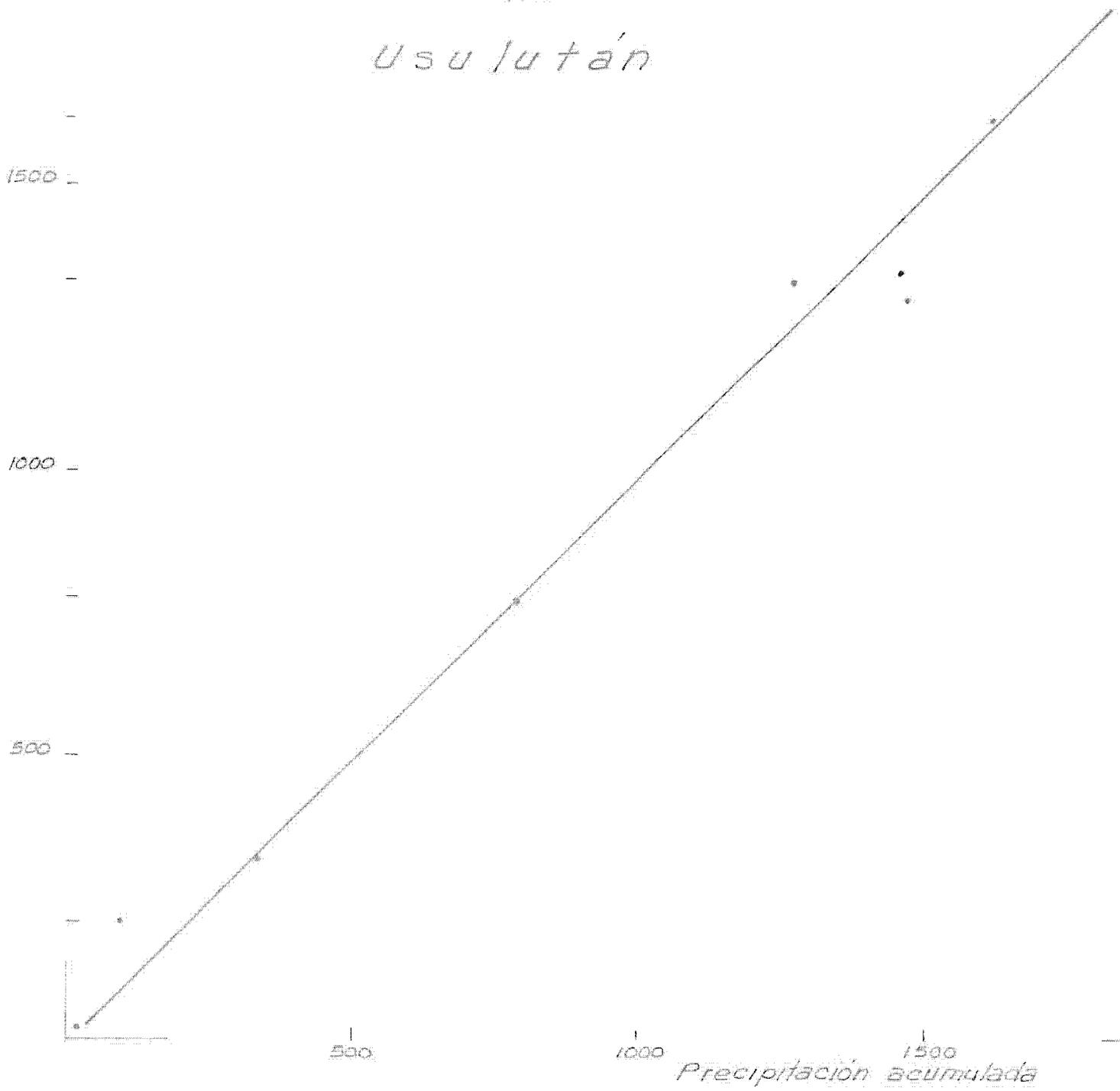
GRAFICA Nº 4

Prec.
Acum.

Precipitación
Curva doble másica
(Después del relleno)

Santa Cruz Porrillo
YRS

Usulután

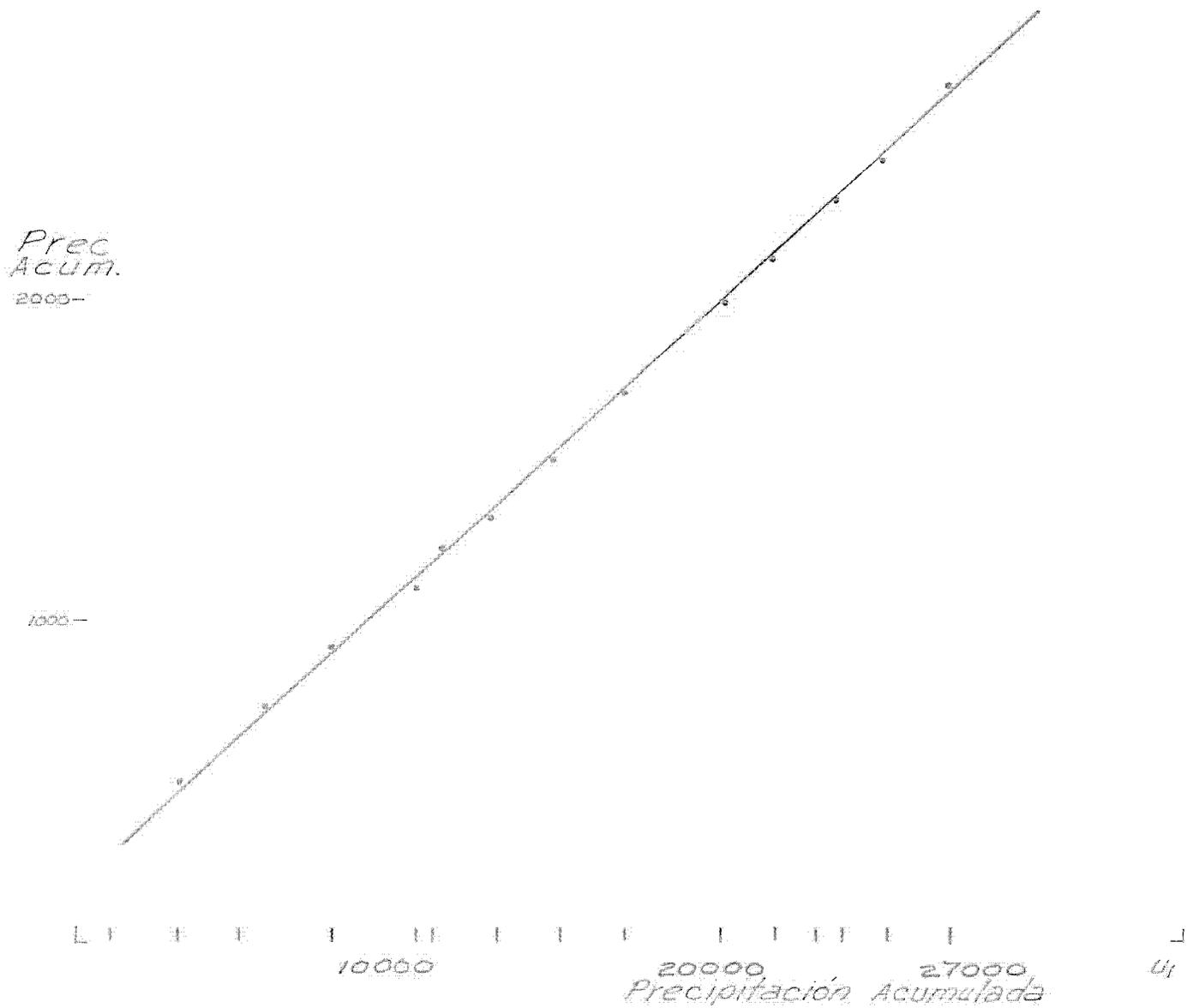


GRAFICA Nº 5

Precipitación
Doble másica
(Despues del relleno)
Santa Cruz Porrillo

vrs

San Marcos Lempa



GRAFICA Nº 6

Precipitación
Doble másica
(Despues del relleno)

Santa Cruz Porrillo

vrs

Hda. San Juan del Gozo

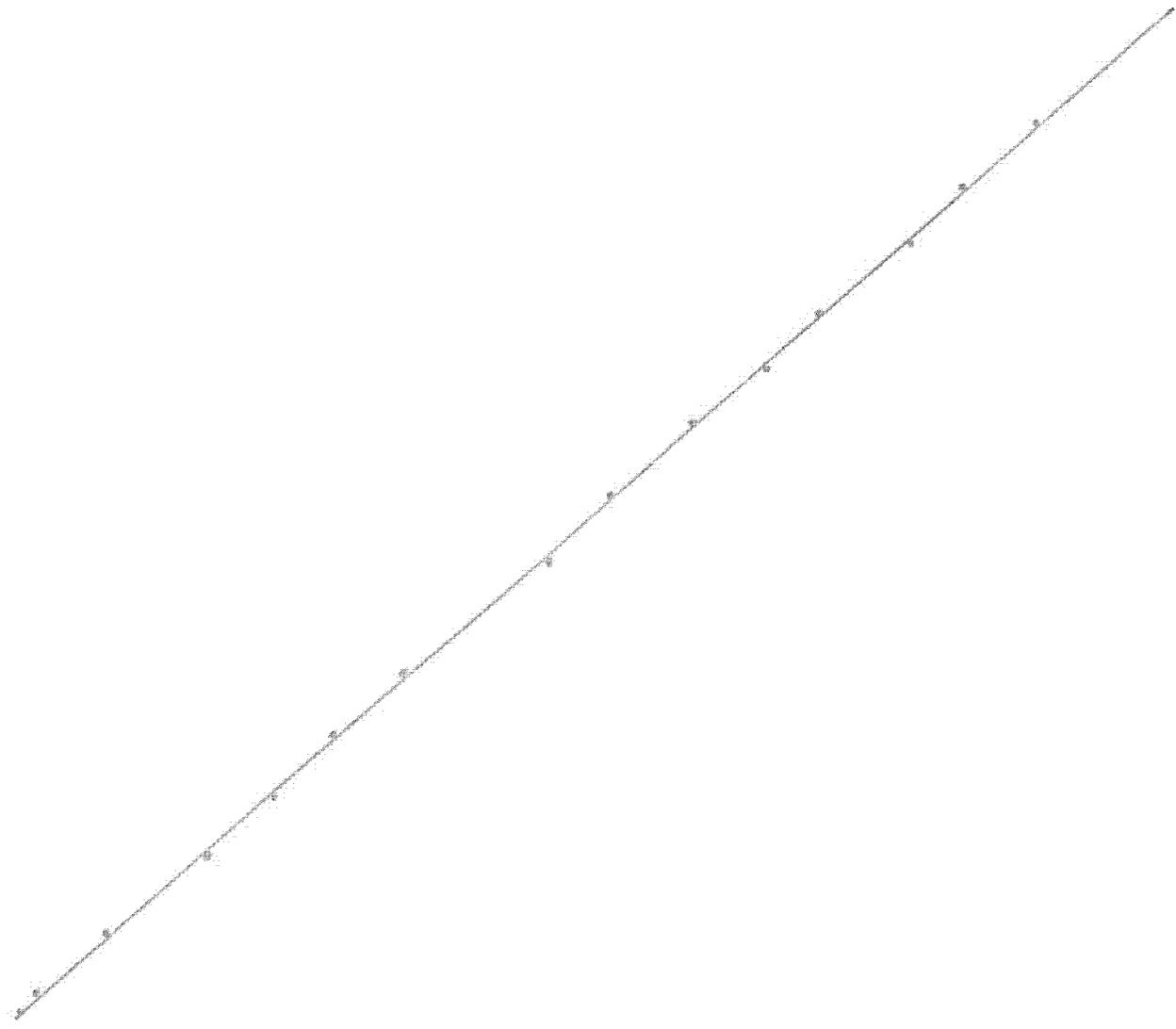
Prec.
Acum.

27000-

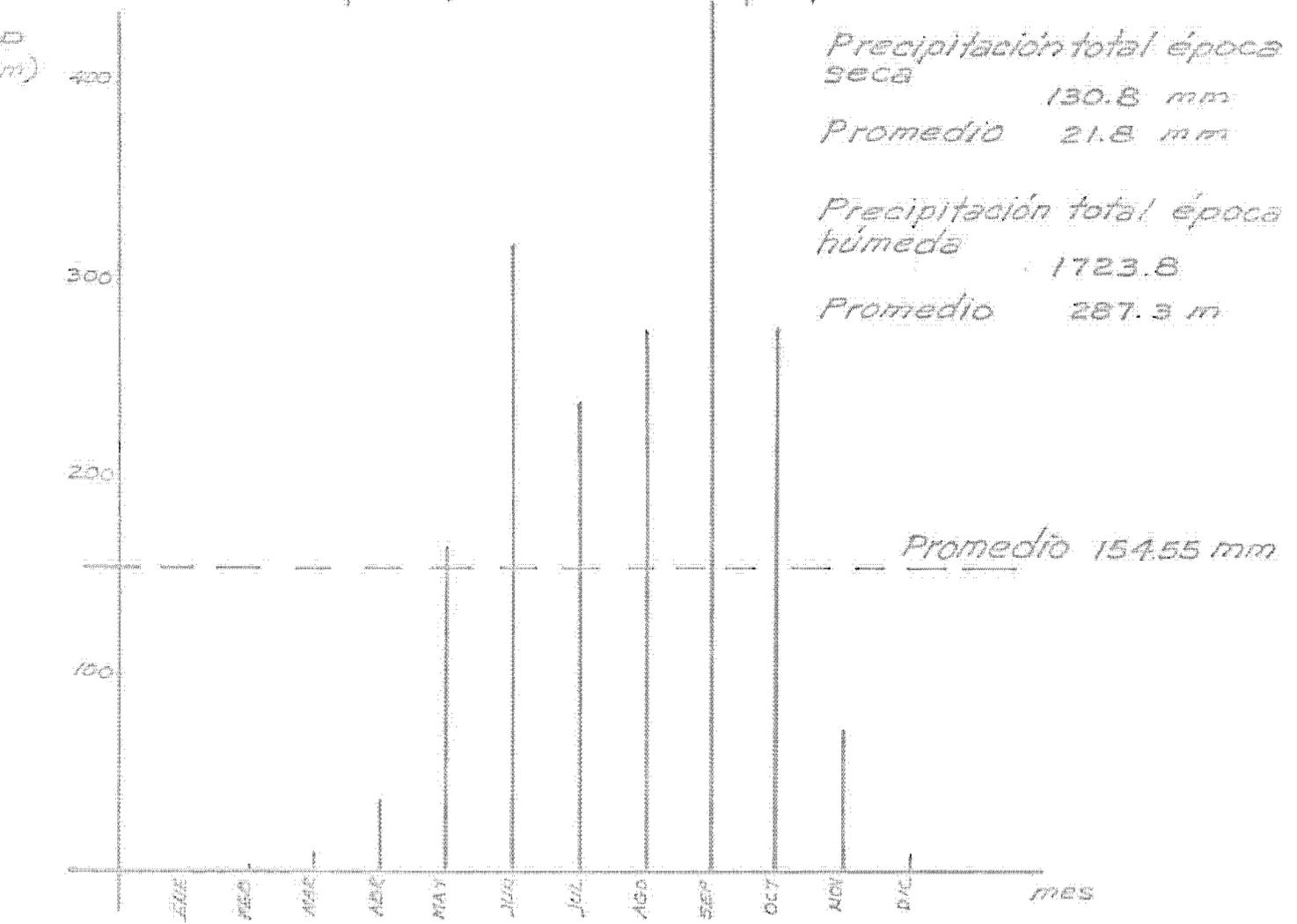
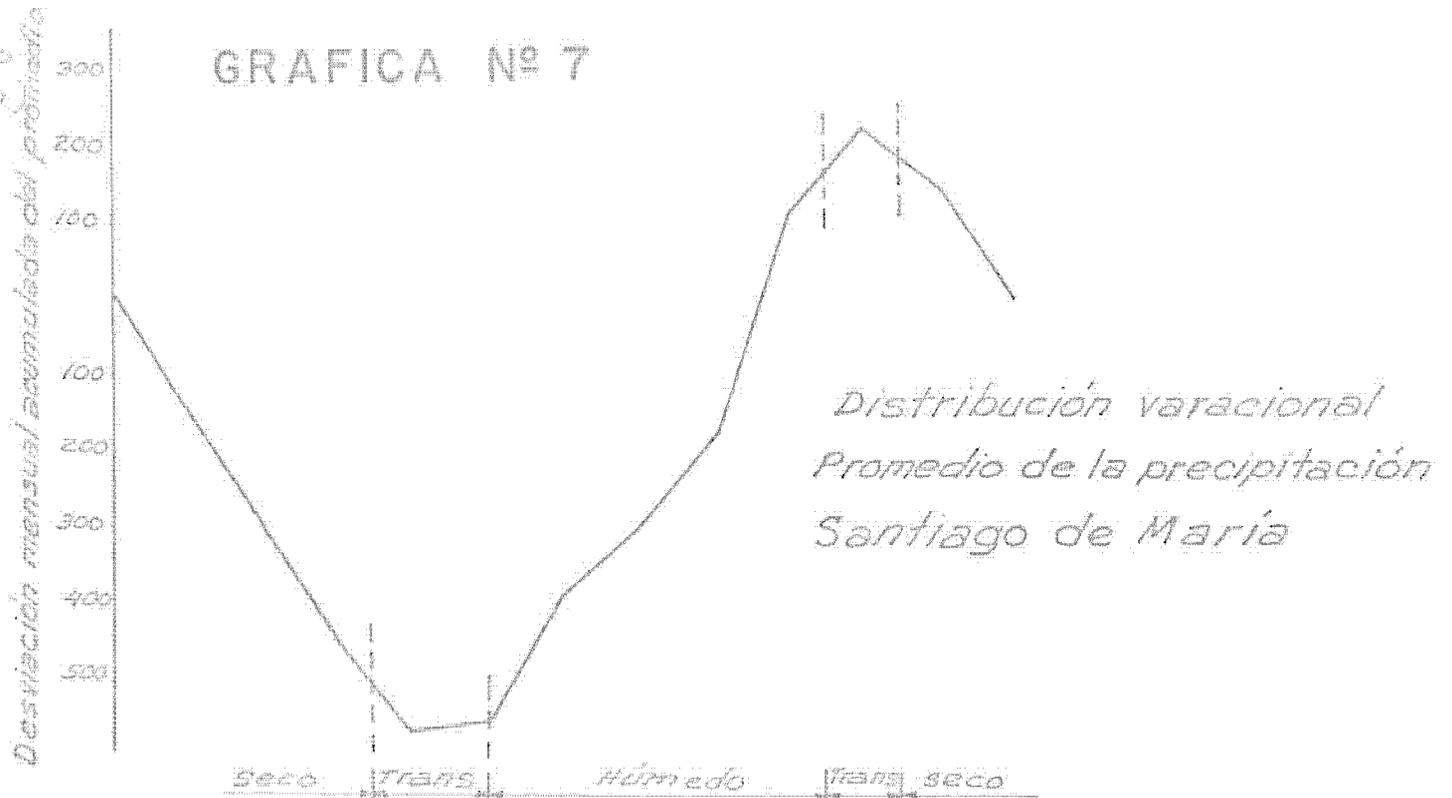
20000-

10000-

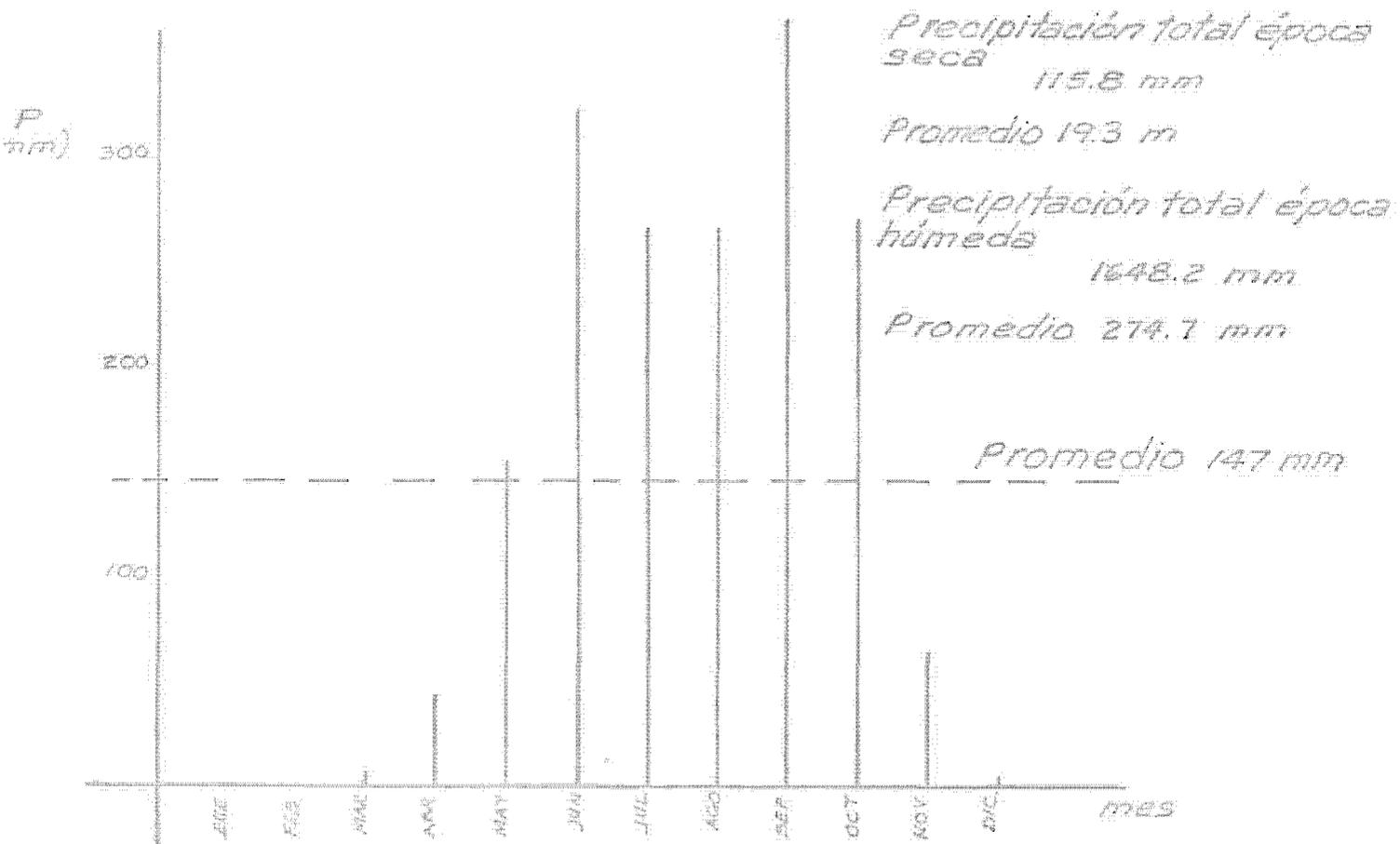
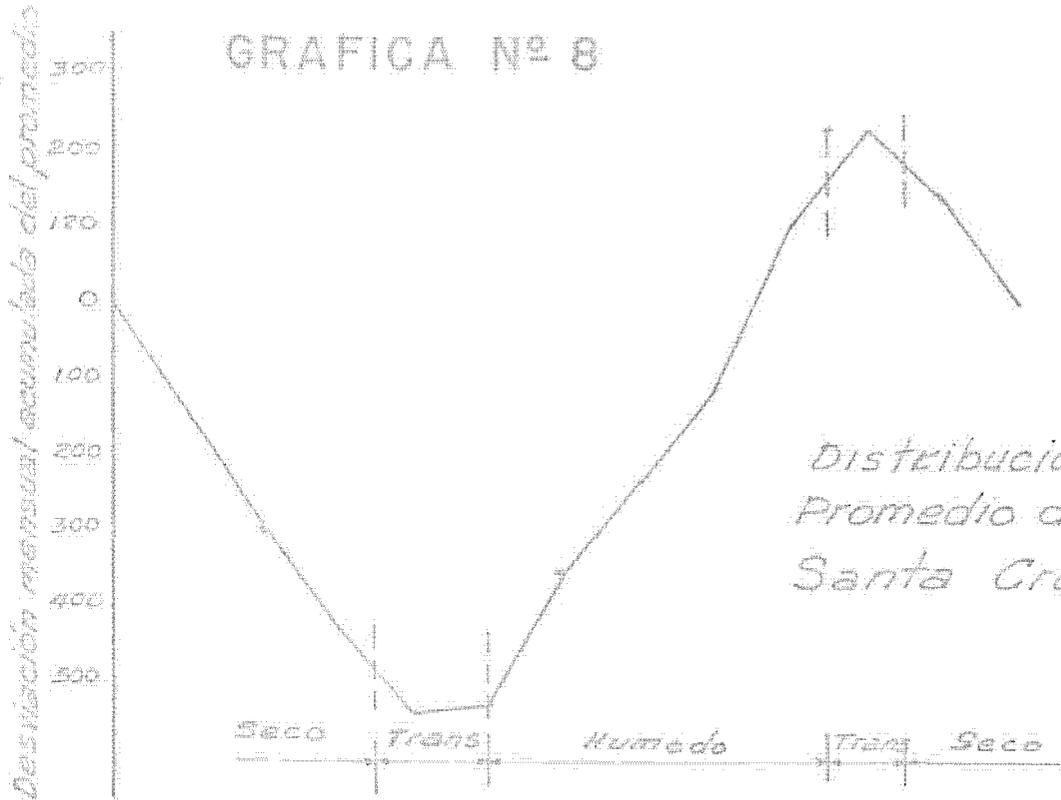
1000 20000 30000
Precipitación acumulada



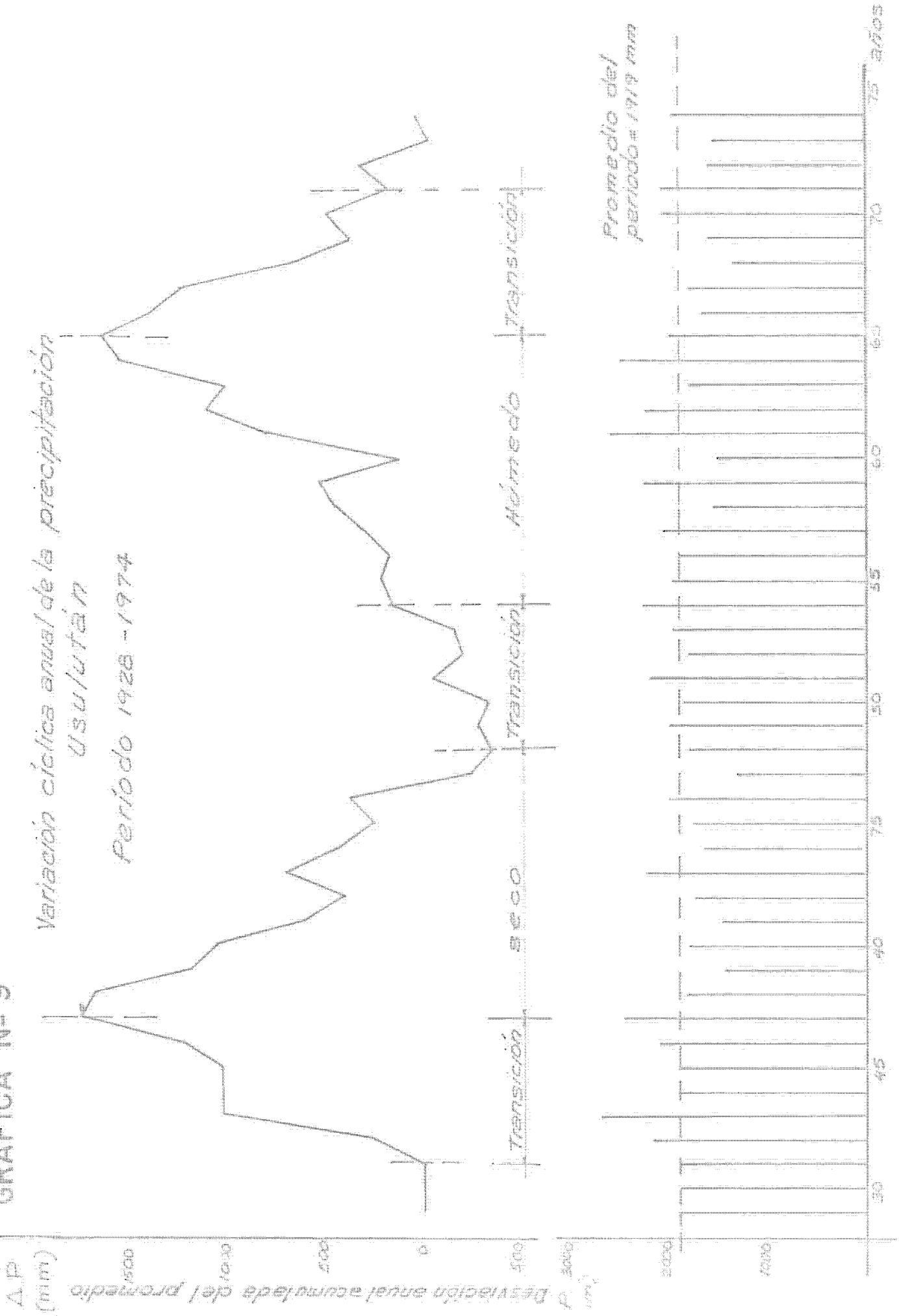
GRAFICA Nº 7



GRAFICA Nº 8



GRAFICA Nº 9

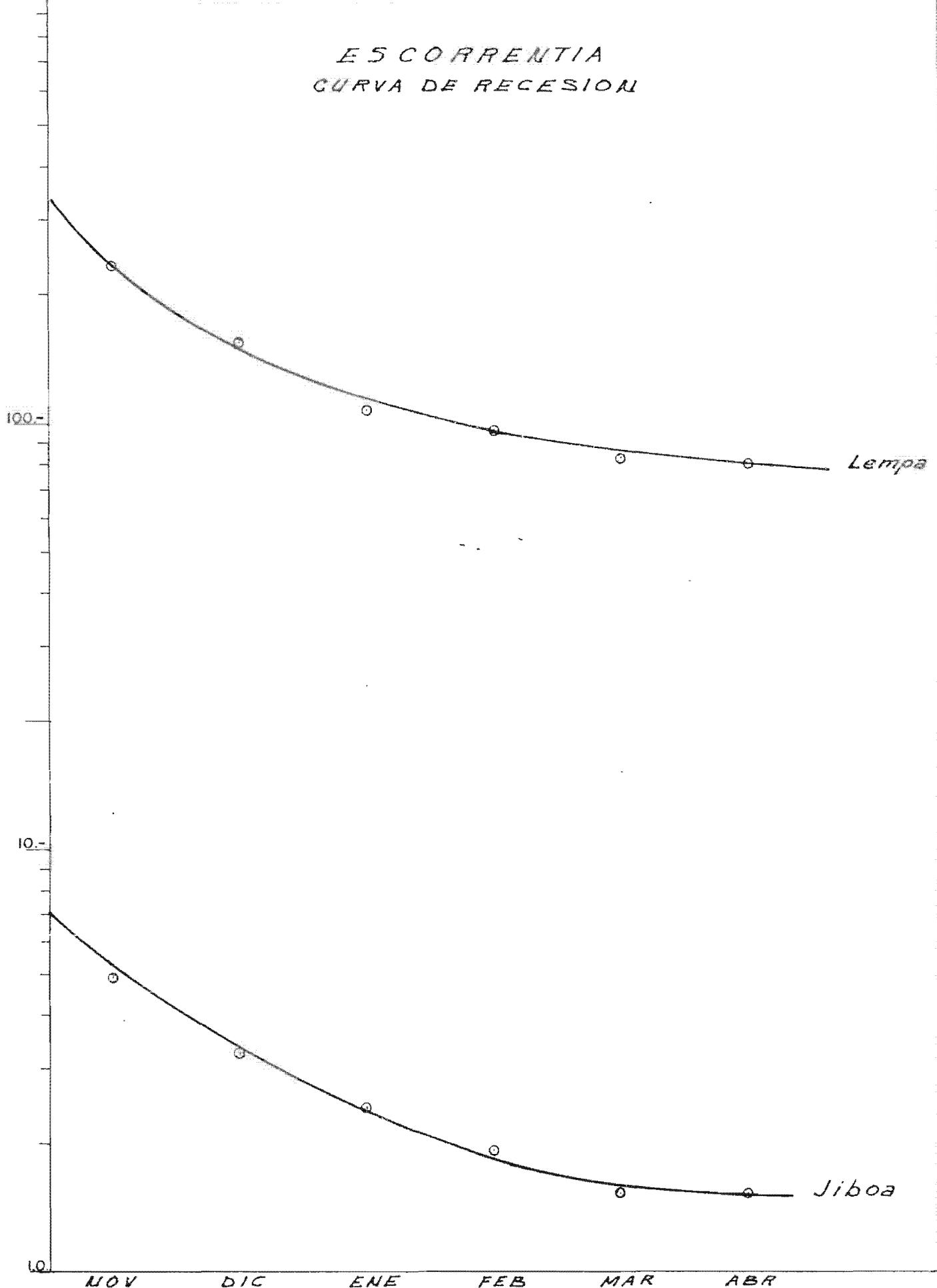


10,000-

GRAFICA N° 9a

Periodo 61-75

ESCORRENTIA CURVA DE RECESION



Lempa

Jiboa

NOV

DIC

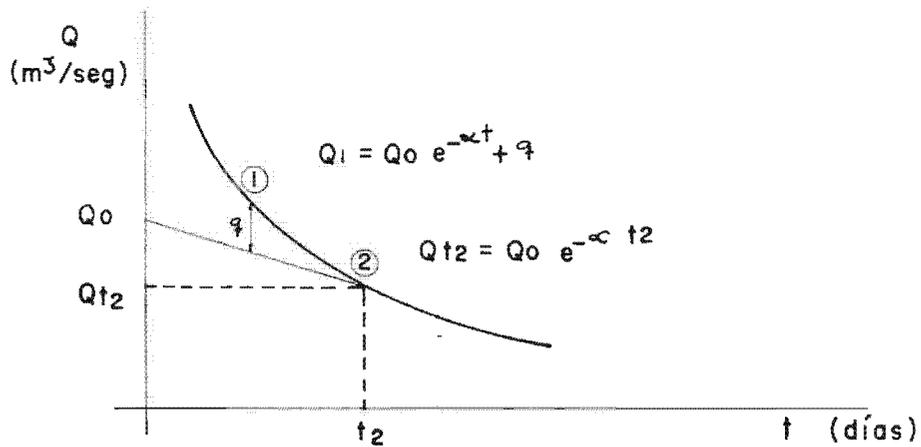
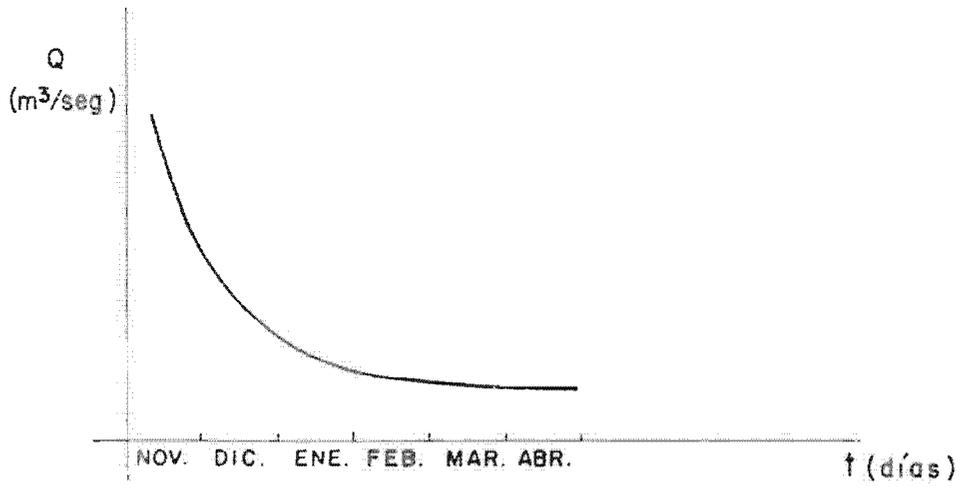
ENE

FEB

MAR

ABR

GRAFICA N° 10



- Q_1 : Caudal a determinar m^3/seg
- Q_0 : Caudal inicial en m^3/seg (intersección de la recta con el eje de los caudales)
- t : Tiempo en días
- α : Coeficiente de agotamiento
- e : Base de los logaritmos naturales
- q : Diferencia de caudales m^3/seg

GRAFICA Nº II

Fluctuación Nivel Freático

Pozo No. 2

Elevación m.s.n.m.

10.0

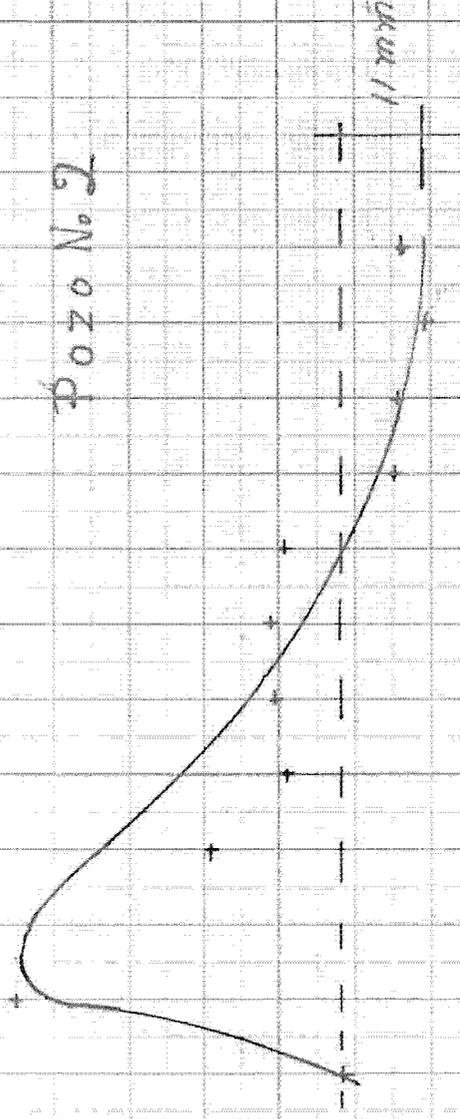
9.0

8.0

11.000

MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC ENE FEB MAR ABR

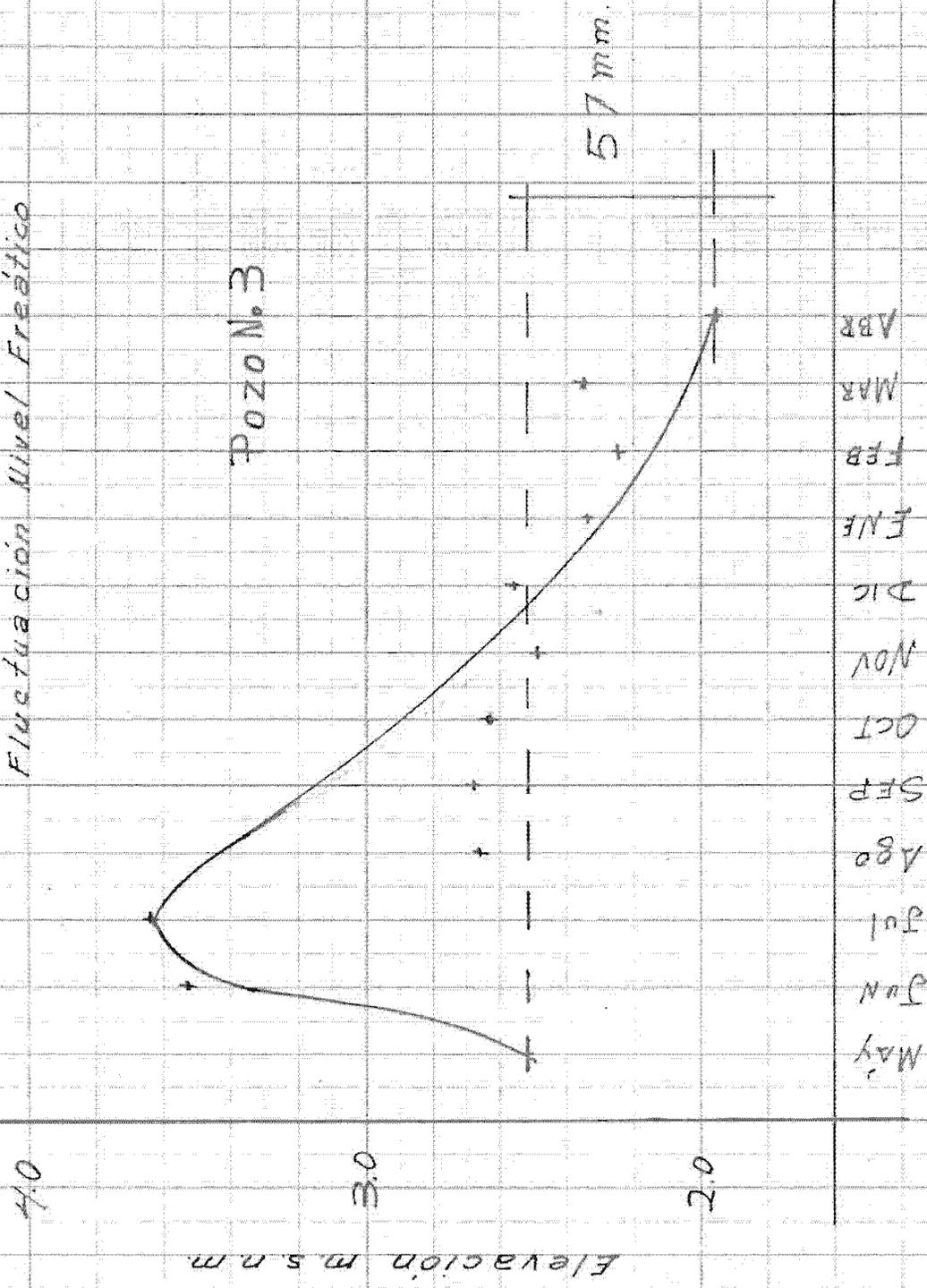
meses del año



GRAFICA Nº II

Fluctuación Nivel Freático

POZO N.º 3



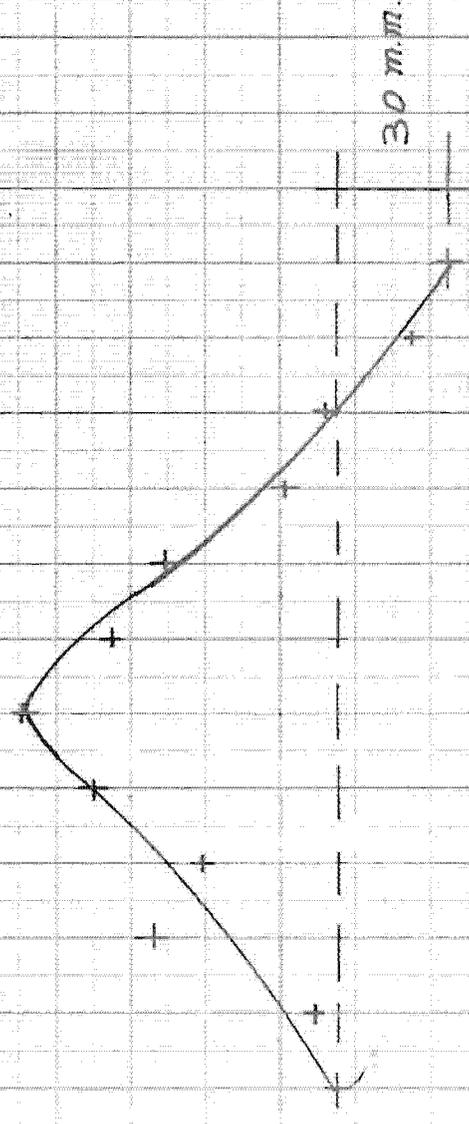
meses del año

GRAFICA N° II

Fluctuación Nivel Freático

POZO N.º 12

Elevación m.s.n.m.

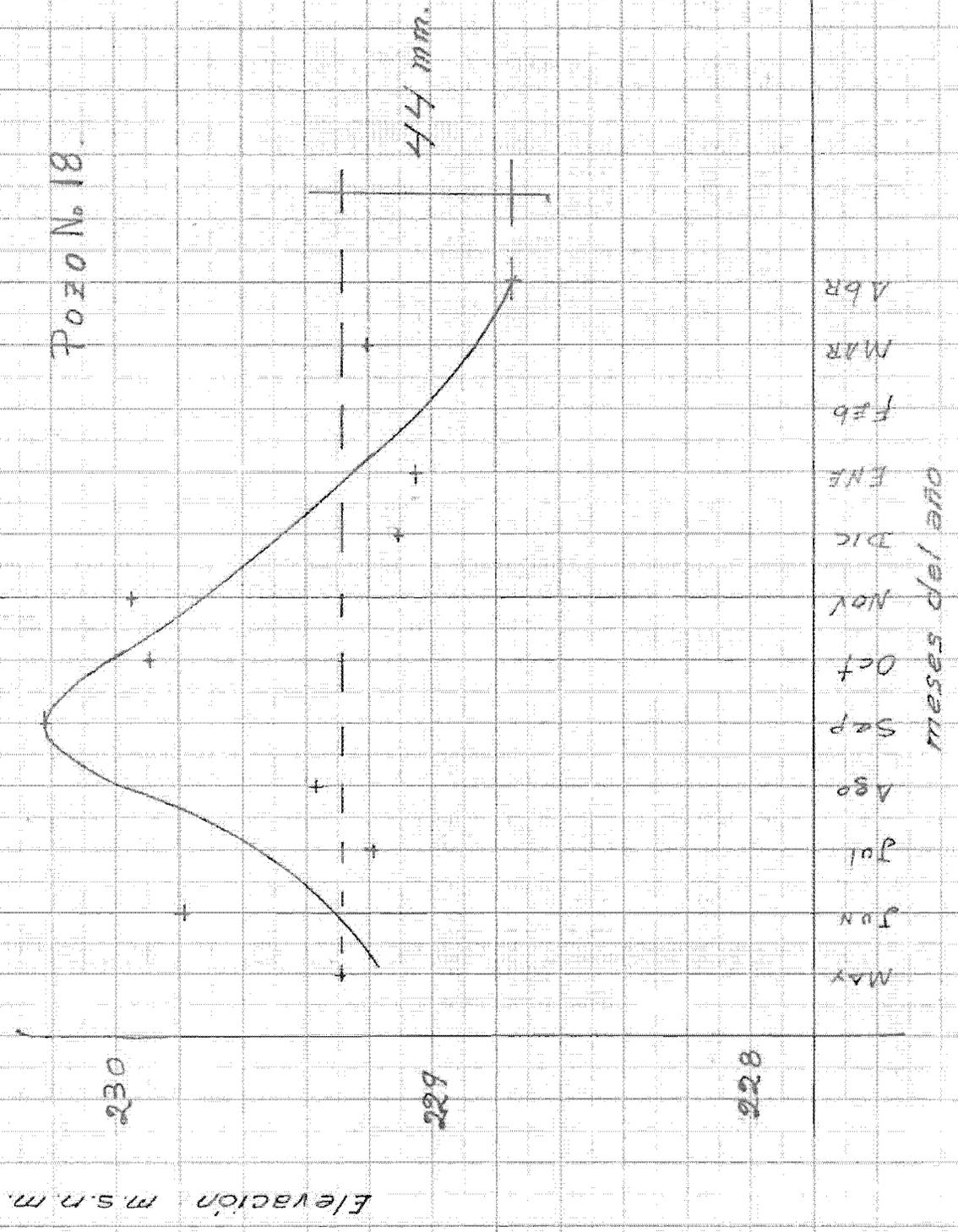


May
Jun
Jul
Ago
Sep
Oct
Nov
Dic
Ene
Feb
Mar
Abr

meses del año

GRAFICA Nº 11

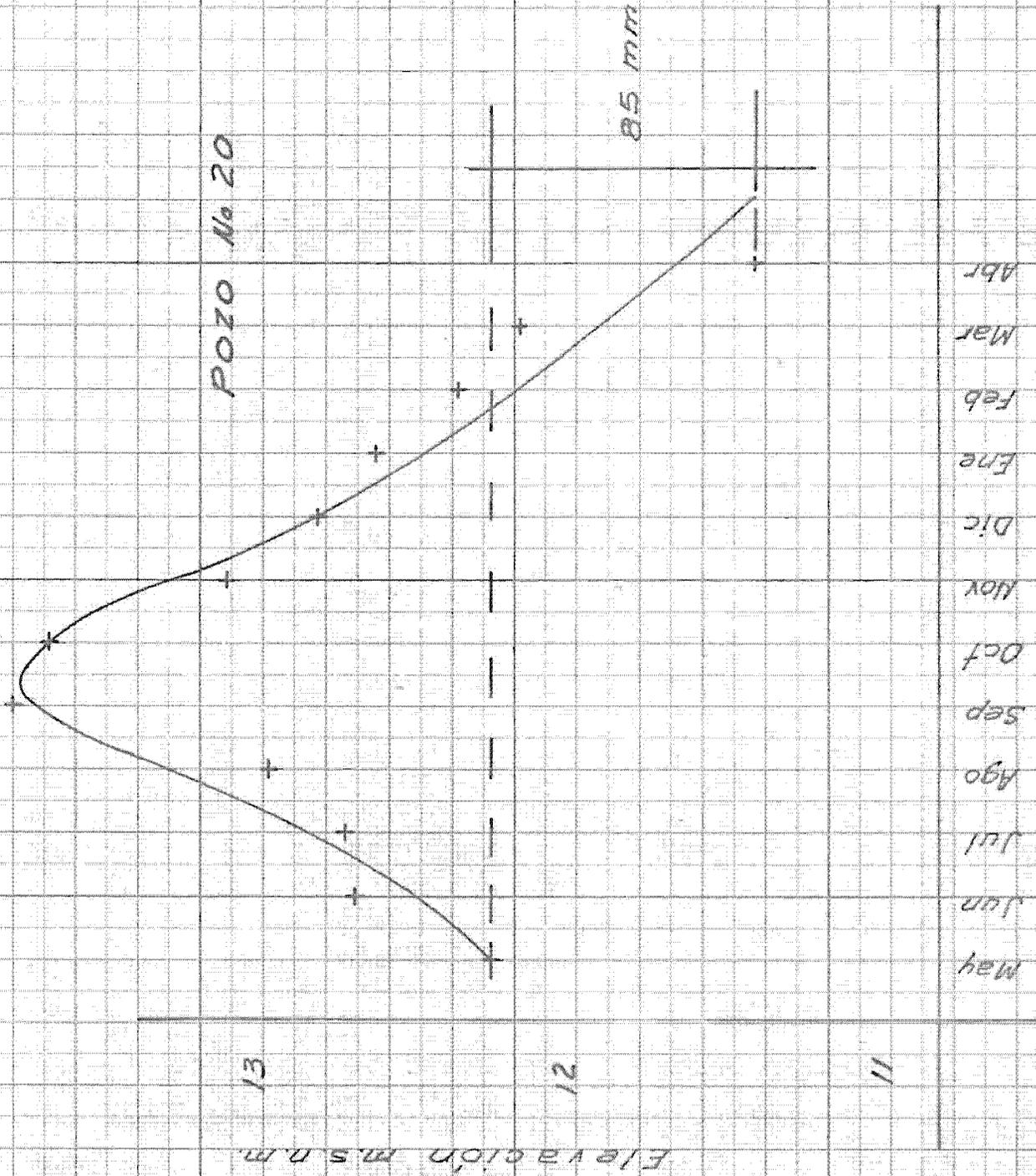
Fluctuación Nivel Freático



GRAFICA Nº II

Fluctuación Nivel Freático

POZO Nº 20



13

12

11

Elevación m.s.n.m.

meses del año

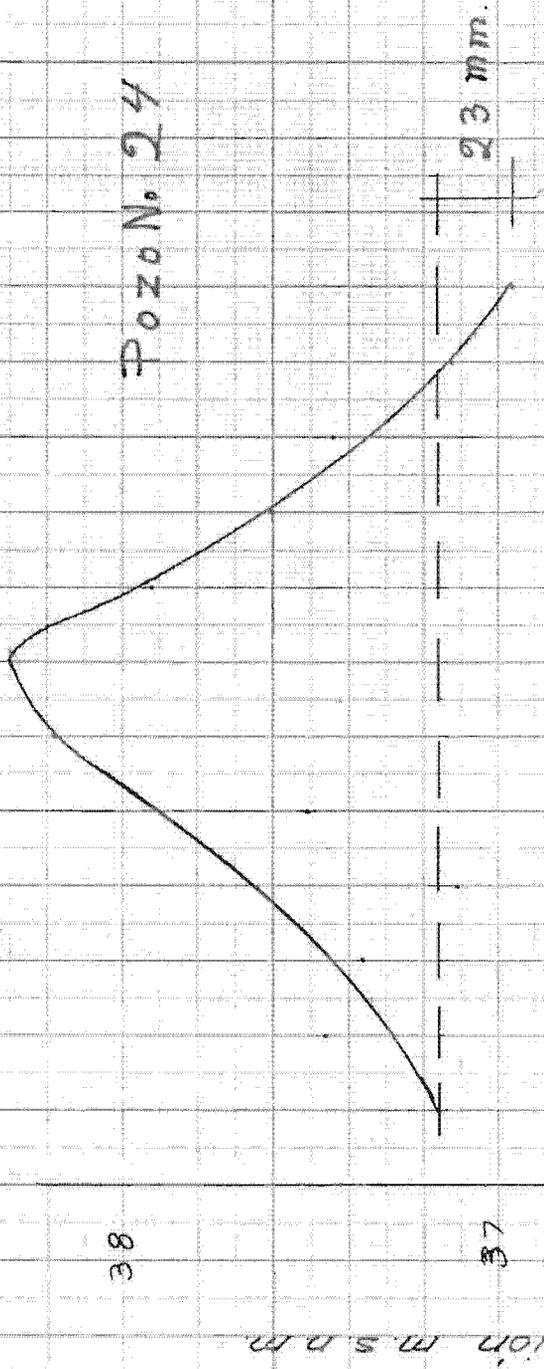
May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr

85 mm

GRAFICA Nº 11

Fluctuación Nivel Freático

Pozo No. 24



Elevación m.s.n.m.

meses del año
May
Jun
Jul
Ago
Sep
Oct
Nov
Dic
Ene
Feb
Mar
Abr

GRAFICA Nº II

Fluctuación Nivel Freático

Pozo No 31

