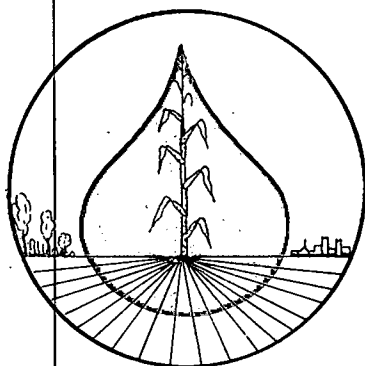


REPUBLICA DE VENEZUELA
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS



V SEMINARIO LATINOAMERICANO DE IRRIGACION
III JORNADAS VENEZOLANAS DE RIEGO

ESQUEMA PARA EL ESTUDIO DEL DRENAJE DE ZONAS HÚMEDAS
Y SU APLICACION A LA ZONA SUR DEL LAGO DE MARACAIBO,
SECTOR CHAMA

Ing° Agr° Guillermo Colmenares
Ing° Agr° Ramón González
Ing° Civ. Jacinto Abi-Saab Soto

DIVISION DE EDAFOLOGIA

Oficina Edafológica Zulia-Andes

Agosto, 1968

**República de Venezuela
Ministerio de Obras Públicas
Dirección de Obras Hidráulicas**

**V SEMINARIO LATINOAMERICANO DE IRRIGACION
III JORNADAS VENEZOLANAS DE RIEGO**

**ESQUEMA PARA EL ESTUDIO DEL DRENAJE DE ZONAS HUMEDAS
Y SU APLICACION A LA ZONA SUR DEL LAGO DE MARACAIBO,
SECTOR CHAMA**

**Ing° Agr° Guillermo Colmenares
Ing° Agr° Ramón González
Ing° Civ. Jacinto Abi-Saab Soto**

INDICE

RESUMEN	Pág. 1
I.- EXPOSICION DE MOTIVOS	" 2
II.- BREVE DESCRIPCION DE LA ZONA	" 3
III.- PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO DEL DRENAJE	" 5
1.- RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE INFORMACION BASICA:	
A.- Revision bibliográfica	" 6
B.- Estudios hidrológicos	" 7
C.- In formacion topográfica	" 9
D.- Estudios edafológicos y geológicos	" 10
E.- Estudios de propiedades físicas de suelos	" 13
F.- Estudios de niveles freáticos	" 14
G.- Estudios de los gradientes de las aguas freáticas ..	" 16
H.- Determinación de la conductividad hidráulica	" 19
I.- Efecto de las mareas, fenómenos de remanso y gastos máximos de los ríos en los sectores de disposición de las aguas drenadas	" 21
J.- Interpretación de los datos obtenidos	" 22
K.- Información económica y social	" 25
2.- EXPERIMENTACION DE DRENAJE A NIVEL DE PARCELA	" 26
3.- ANTEPROYECTOS ALTERNATIVOS	" 28
A.- Trazado de la red primaria, secundaria y terciaria	" 28

3.2.- Trazado de la red de drenaje interno	Pág. 29
3.3.- Discusión y selección de anteproyectos	" 30
IV.- BIBLIOGRAFIA	" 36

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre una metodología en forma esquemática, - para el estudio del drenaje de zonas húmedas y se toma como ejemplo la Zona Sur del Lago de Maracaibo.

Se enfoca el problema bajo dos aspectos: drenaje superficial y drenaje subsuperficial.

Se señalan los pasos a seguir para la recopilación, interpretación y análisis de la información, y formulación de varios anteproyectos alternativos, para escoger el más favorable desde el punto de vista técnico y económico.

Se cita la bibliografía, que se considera más conveniente, en cada uno de los aspectos tratados.

I.- EXPOSICION DE MOTIVOS

La Zona Sur del Lago de Maracaibo, es bien conocida por su potencialidad agrícola; sin embargo, está afectada su productividad, entre otras causas, - por problemas de inundaciones y de drenaje (13).

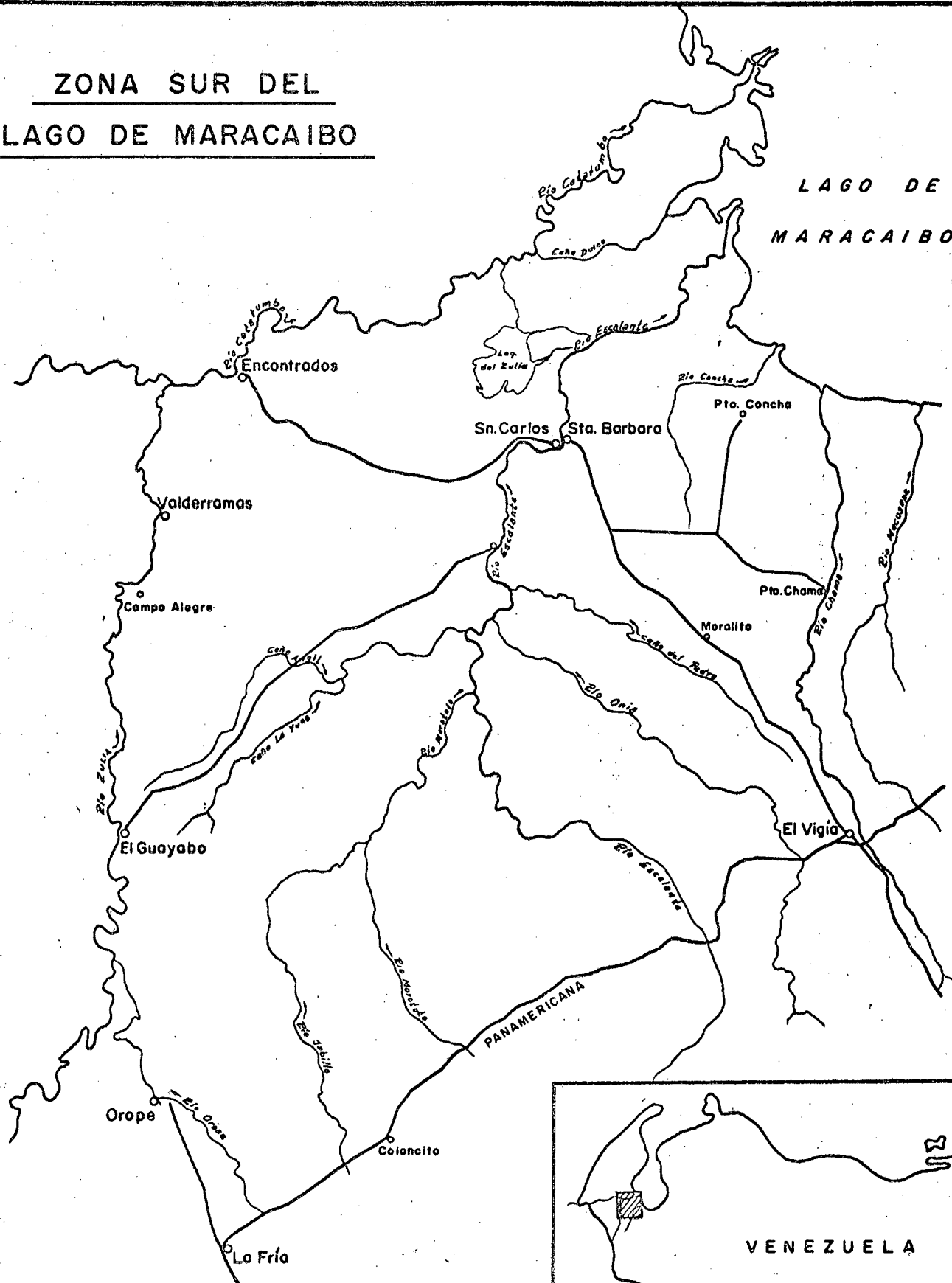
Para resolver el problema de drenaje, se ha estimado una inversión de aproximadamente 85 millones de bolívares correspondientes al drenaje primario (5), faltando por considerar las inversiones para drenaje secundario, terciario y drenaje a nivel de parcela.

Como es obvio, con inversiones tan cuantiosas, se requieren cuidadosos estudios previos, que permitan resolver el problema de drenaje de manera eficiente y económica, máxime que dicho problema no es de fácil solución y se requiere una información precisa y abundante; así mismo, es oportuno señalar que, las experiencias mundiales sobre el drenaje superficial y subterráneo son de aplicación local ó regional, no siendo conveniente extrapolar de manera rígida los resultados - obtenidos de una zona, para aplicarlos en otra de características diferentes. Esto también trae como consecuencia, la necesidad de experimentar en la zona, a fin de obtener datos reales.

El objeto de este trabajo es dar un esquema de cierta metodología, que permita orientar los estudios e investigaciones de drenaje en la Zona Sur del Lago de Maracaibo y otras zonas húmedas con características similares. En algunos aspectos de este trabajo no se entra en detalles, por considerar que existe abundante bibliografía, en este caso se señala la cita que se estima más adecuada.

ZONA SUR DEL
LAGO DE MARACAIBO

LAGO DE
MARACAIBO



V E N E Z U E L A

II.- BREVE DESCRIPCION DE LA ZONA

La Zona está situada en el Occidente de Venezuela, al Sur del Lago - de Maracaibo, entre los meridianos $71^{\circ} 37'$ y $72^{\circ} 24'$ Oeste y los paralelos $8^{\circ} 12'$ y $9^{\circ} 22'$ Norte. Sus límites naturales son: Norte, Río Catatumbo y Lago de Maracaibo; Este, Río Mucujepé; Sur, Carretera Panamericana entre El Vigía y La Fría; Oeste, la Carretera La Fría-Orope, el Río Orope hasta su desembocadura en el Río Zulia y de allí por el Río Zulia hasta su desembocadura en el Río Catatumbo. El área delimitada tiene aproximadamente 640.000 Ha.

Desde el punto de vista fisiográfico la zona constituye una planicie aluvial, cruzada por ríos que se han ido levantando sobre sus propios sedimentos, - constituyendo diques naturales de aluviones recientes y material generalmente de texturas livianas y que actúan como divisorias naturales. Luego, en una posición ligeramente más baja que la anterior y descendiendo a medida que se aleja de los diques, se continúan las napas de desbordamiento, de material de textura mediana a pesada. Las napas de desborde mueren en las cubetas de decantación, las cuales constituyen los sitios más bajos, menos sometidos a la acción de la colmatación y con materiales de texturas pesadas (Arcilia, Arcillo-limosa) (13).

La precipitación promedio anual varía desde 2.700 mm en los alrededores de La Fría, hasta 1.300 mm en los alrededores de Santa Bárbara (5).

La temperatura media anual es de 28.1°C en la estación de Santa Bárbara (5).

La humedad relativa media está alrededor de 70%, con mínima de 63% y máxima de 100% (5).

La evaporación media anual es aproximadamente 1.500 mm (5).

La actividad económica más importante es la ganadería, el cultivo de musáceas y actividades conexas.

La ganadería casi siempre se desarrolla en los suelos de limitada capacidad productiva y algunas veces en suelos muy buenos. Las plantaciones de musáceas se localizan en los mejores suelos, principalmente en los sectores de los ríos Chama, Onia, Mucujepe y Escalante, ocupando un área de aproximadamente 22.500 Ha. (13).

III.- PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO DEL DRENAJE

Como quiera que la Zona Sur del Lago de Maracaibo es sumamente extensa, habrá de dividirse en subzonas que tengan ciertas características que las definan como unidades de estudio.

En principio y en base a los primeros reconocimientos, se han delimitado 2 grandes subzonas:

a) El sistema tributario de la Laguneta del Zulia, comprendido entre el caño Angil por el Sur, Río Catatumbo por el Norte, Río Escalante por el Este y - Río Zulia por el Oeste. Ocupa un área de aproximadamente 125.000 Ha.

b) Subzona comprendida entre el Río Mucujepe y el Caño El Padre, continuando con la margen derecha del Río Escalante; comúnmente se denomina sector del Río Chama. Con un área aproximada de 120.000 Ha.

Habrà de seguirse determinando subzonas a medida que se obtenga mayor información y de acuerdo a las prioridades del desarrollo. Tentativamente el resto del área se puede subdividir en: subzona Caño El Padre-Río Escalante; subzona Río Escalante, Ríos Jabillo y Morotuto; subzona Río Orope y Caño La Yuca.

Cada una de estas subzonas se estudiará por separado y constituirá una unidad de estudio, siguiendo la metodología que se expone en este trabajo. Des - de luego, que mucha información básica y de experimentación, obtenida en una - subzona, será aplicable en otra de ellas.

Grassi (10) menciona que la manera de atacar un problema de drenaje , se basa principalmente en el reconocimiento previo del mismo. El reconocimiento del problema significa:

a) Evaluar los daños actuales y potenciales en las explotaciones agropecuarias y sus consecuencias económico-sociales.

b) Identificar las causas del problema, que se derivan de las condiciones naturales de la zona y/o del uso de los recursos al intervenir el hombre. El mismo Grassi señala, que en los Standards del Bureau of Reclamation se establece, que para la solución de un problema de drenaje se debe contestar las siguientes preguntas:

- 1) Existe actualmente ó en el futuro exceso de agua?
- 2) Se dispone de colector para la disposición de las aguas?
- 3) Cual es la fuente de exceso de agua?
- 4) Puede ser el suelo prácticamente drenado?
- 5) Cuanta agua debe ser drenada?
- 6) Cual método de drenaje dará los mejores resultados?

El estudio de drenaje, como se verá a continuación, implica numerosas actividades distintas, simultáneas y complejas. En consecuencia, antes de iniciar el mismo, se debe hacer una programación de actividades por el Método de la Ruta Crítica, lo cual redundará en economía de tiempo y esfuerzos. (24).

Dentro del estudio del drenaje se tienen 3 aspectos fundamentales: recolección y procesamiento de información básica; experimentación a nivel de parcelas y en base a los 2 aspectos anteriores, se tiene el tercer aspecto, de anteproyectos alternativos.

1.- RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACION BASICA

A.- Revisión bibliográfica

Se recopilará y revisará toda la información que directa ó indirectamen

te trata sobre el problema de drenaje de la zona objeto del estudio. Para cada escrito ó consulta realizada, se preparará la ficha correspondiente con los puntos considerados más importantes.

B.- Estudios hidrológicos

b.1.- Precipitación

Se analizará toda la información disponible con el propósito de obtener - las tormentas de diseño (intensidad, duración y frecuencia) por cualquiera de los métodos estadísticos (Gumbell-Powell y Hanse) (9).

Así mismo, es necesario hacer el análisis de distribución de tormentas, a fin de corregir las lluvias puntuales para las cuencas mayores de 1.000 Ha. (7).

También, es necesario conocer las precipitaciones mensuales y anuales y sus ciclos interanuales.

Para el cálculo de los volúmenes ó láminas precipitadas se usará el método de las isoyetas (7). Sin embargo, si hay pocas estaciones se utilizará el método - de los polígonos de Thiessen (7).

b.2.- Evaporación y evapotranspiración potencial

La evaporación para los fines del drenaje es un dato de mucho interés, - pues además de ser útil como evaporación misma, constituye un elemento muy valioso para estimar la evapotranspiración potencial. Se estimará la evapotranspiración potencial a partir de la evaporación afectada por el coeficiente 0,8 (18).

b.3.- Ciclos de precipitación y balance hídrico del suelo

La zona se caracteriza por la ocurrencia, posiblemente con carácter cíclico, de algunos años con precipitación baja, lo que da lugar en el sector norte, a partir del paralelo imaginario que pasa por El Morality, a la necesidad de riego

suplementario, sobre todo en los suelos de textura liviana, de baja retención de humedad (4).

Habría en este caso que estudiar la ocurrencia de estos años secos y cuál sería la demanda de riego complementario. La demanda de riego se determinará mediante el método del balance hídrico, tomando en cuenta la capacidad real de almacenamiento del suelo y que la evapotranspiración potencial se calcula a partir de la evaporación (11). La capacidad de almacenamiento de agua de los suelos se determinará en base al estudio de su propiedades físicas.

b.4.- Estudio de cuencas representativas

Existen cauces de cierto tamaño cuyas cuencas están exclusivamente dentro del área de estudio y constituyen los drenajes principales de hoyas de captación desde 20.000 hasta 80.000 Ha., entre estas cuencas se tienen las siguientes: cuenca del Caño Chamita, cuenca del Caño El Padre, cuenca del Caño Blanco. Ahora bien, las características de escurrimiento de las mismas son muy particulares y poco conocido su funcionamiento. La pendiente de estas cuencas está en el orden de 1 a 0,2 0/00 (4).

A los efectos de diseño, para la rectificación de estos cauces principales ó construcción de la red primaria de colectores, es necesario conocer con cierta precisión algunas características hidrológicas e hidráulicas. A tal efecto, es conveniente tomar una cuenca tipo y estudiar sus características de escurrimiento. Para ellos es conveniente instalar dentro de la cuenca un pluviógrafo por cada 10.000 a 15.000 Ha.; así mismo, en la extremidad de la cuenca se instalará, en un sitio adecuadamente escogido, un limnógrafo y pluviógrafo. Con esta información se determinará hidrógrafos unitarios, los coeficientes de escurrimiento, los volúme -

nes escurridos, el tiempo de concentración, etc.

Con una buena información de estas cuencas-tipo, podrían hacerse extrapolaciones para las demás cuencas de la zona, ya que las características de las mismas son bastante similares.

Es conveniente advertir que los ríos que tienen cuencas exógenas entre El Vigía y La Fría, como son entre otros El Onia, Guaruríes, Escalante, Boconó, Jabillo, Carira, caen dentro del plan de control de inundaciones, en consecuencia, su estudio no se contempla en el plan de drenaje, pero si el de las tierras adyacentes.

El coeficiente de rugosidad (n) de los canales y cauces naturales es de gran importancia, por el hecho de que la vegetación de la zona (entre otros factores) tiene gran influencia en el coeficiente y cualquier variación de éste, influye en el funcionamiento hidráulico y por ende en los costos de construcción. Es conveniente tomar ciertos tramos de canal ó cauce natural y determinar los coeficientes de rugosidad para diferentes estados de mantenimiento y crecimiento de la vegetación.

C.- Información topográfica

La información topográfica es básica para la investigación y proyecto de los sistemas de drenaje.

Las escalas y el intervalo de curvas de nivel varían con el área y con la topografía; sin embargo, como escalas promedio se deben tomar 1:5.000 ó 1:10.000, pues muestran bastante detalle; para drenaje a nivel de parcelas debe usarse esca-la 1:2.000.

Como intervalo de curvas de nivel debe tomarse 0,5 a 1 m. para grandes

áreas, y 0,20 a 0,50 m. para drenajes parcelarios. Para el caso del Sur del Lago, los planos topográficos existentes se presentan en escala 1:10.000 e intervalo entre curvas de 0,50 m, totalmente adecuados para el estudio y proyecto de drenaje. Sin embargo, se han comprobado ciertas deficiencias en cuanto a que algunos pequeños drenajes naturales no aparecen, los cuales habrán de levantarse y llevarse al plano base.

La Fotointerpretación es un auxiliar muy valioso para este tipo de estudio. El uso de buenas fotos y escala adecuada ayuda bastante cuando se trata de grandes áreas, lo cual permite rápidamente obtener una visión del problema. Es importante señalar, que paralelamente a la fotointerpretación, debe hacerse una comprobación en el campo de lo inferido en la foto.

Mediante la fotointerpretación se puede detectar las áreas problemáticas ó críticas desde el punto de vista del drenaje, se reconocen colectores y divisorias, se puede tener una idea bastante aproximada de la capacidad de drenaje superficial del sector, y con un mejor conocimiento de los suelos y los cultivos sembrados, a veces es posible inferir con buena aproximación el drenaje interno (19).

Las escalas más adecuadas de las fotos deben estar entre 1:10.000 y 1:25.000.

En el Sur del Lago existe un vuelo del año 1964, misión 010158, escala 1:25.000.

D.- Estudios edafológicos y geológicos

Los estudios edafológicos proporcionan datos imprescindibles para la investigación de un problema de drenaje.

En efecto, de acuerdo a las recomendaciones del Profesor A. Volke, Re-

lador General del Sexto Congreso de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje, "se debe tener muy presente que los estudios de suelos en las zonas deltaicas y la cartografía de los mismos, constituirán la base de todo futuro trabajo de recuperación y aprovechamiento, y que deben ser incluidos obligatoriamente en los proyectos de desarrollo de esas regiones".

Al delimitarse las diferentes series de suelo, cada una de ellas representa un área de suelos con características físicas y químicas similares (a excepción del estrato superficial) que permiten evaluar, al menos cualitativamente, el comportamiento de estos suelos en lo que respecta a su drenabilidad. La textura, la estructura y el moteado del perfil, dan buena idea del grado de drenabilidad del suelo.

La clasificación de tierras con fines de riego, del Bureau of Reclamation U.S.A. (21), adoptada por Venezuela y modificadas para las condiciones del Sur del Lago (14) es una clasificación económica basada en la productividad y costos de desarrollo de los suelos. En esta clasificación se toma muy en cuenta el grado de drenabilidad de un suelo, lo cual permite en un momento dado, tomar decisiones sobre un problema de drenaje. En la Zona Sur del Lago se tienen casos típicos sobre este aspecto. Así, con el Estudio Agrológico Semidetallado y de Clasificación de Tierras (13), se obtuvo la suficiente base como para justificar y orientar la investigación del drenaje superficial y subsuperficial. El sector Orope-El Guayabo-Valderramas, por ser suelos de relativamente baja capacidad productiva y alto costo de desarrollo del drenaje interno, al ser predominantemente suelos pesados, se presume que no sea factible la posibilidad del drenaje interno. Por el contrario, el sector del Río Chama, con suelos de alta productividad y costos de desarrollo permisibles, hacen en principio, pensar en la posibilidad del drenaje subsuperficial.

Aunque los estudios edafológicos proporcionan datos muy valiosos, su información es obtenida generalmente hasta profundidad de 2 - 2,50 m; sin embargo, los problemas del drenaje requieren investigaciones más profundas (geológicas), - de modo de poder determinar la posibilidad de ocurrencia de estratos de buena permeabilidad a cierta profundidad, por donde sea posible aliviar el nivel freático; - así mismo, mediante la información geológica es posible detectar horizontes "ba-rrera" profundos, que esten interfiriendo el drenaje de la zona de las raíces, así como también la presencia de acuíferos con presión artésiana que podrían estar recargando la mesa de agua (8) (1).

La descripción del perfil geológico, es junto con la descripción del perfil edafológico, un elemento muy valioso para diagnosticar y pronosticar el problema del drenaje. En la Zona Sur del Lago la descripción del perfil geológico y la localización de acuíferos a ciertas profundidades es muy importante, debido a - que se tienen evidencias de la existencia de acuíferos con presión artésiana, los cuales estén posiblemente influenciando en algunos sectores la mesa de agua, sobre todo en las vecindades del pié de monte Andino, donde se observa más superficial la influencia de la presión artésiana. La presencia de estos acuíferos posiblemente sea debida a la gran recarga de Los Andes, donde hay altas precipitaciones y suelos permeables.

La presencia de los acuíferos en el Sur del Lago es importante, pues como más adelante se explica, un método de drenaje interno podría ser el abatimiento - de la mesa de agua por bombeo de pozos, y si esta situación se pudiera combinar con el riego suplementario para los ocasionales veranos, resulta quizás una práctica y económica solución.

Con la investigación edafológica y geológica se debe detectar el horizonte "barrera". El horizonte "barrera", es un estrato de permeabilidad relativamente baja con respecto a las permeabilidades de los estratos suprayacentes, dando lugar a una acumulación de agua sobre el mismo.

Grassi (10), cita 2 criterios para determinar la "barrera": el criterio de Luthin, el cual sostiene que horizonte "barrera" es aquel cuya conductividad hidráulica es el 10% del inmediato superior, y el criterio del Bureau of Reclamation que señala como "barrera", aquel estrato u horizonte en el cual la conductividad hidráulica es un quinto ó menos, que la conductividad hidráulica media ponderada de los estratos suprayacentes.

E.- Estudio de propiedades físicas de suelos

A los fines del estudio del drenaje, tanto superficial como sub-superficial, es necesario hacer la caracterización física del suelo. Esta caracterización física contempla las determinaciones que se anotan a continuación:

- a) Análisis granulométrico (21)
- b) Determinación de densidad real y aparente (21)
- c) Determinación de porosidad (21)
- d) Determinación de retención de humedad: capacidad de campo y punto de marchitez permanente (21).
- e) Determinación de capacidad mínima de aereación (12) (1)
- f) Determinación de infiltración (21)
- g) Determinación de conductividad hidráulica (21) (20)
- h) Determinación del rendimiento específico (8)

La caracterización física del perfil edafológico se hará a nivel de tipo

de suelo, para cada uno de los estratos u horizontes principales hasta una profundidad de 2,5 m. Para cada estrato se determinará cada una de las propiedades físicas por triplicado. La unidad de muestreo la constituirá el tipo (22).

F. - Estudios de niveles freáticos

Para el buen desarrollo de los cultivos es imprescindible conocer la influencia, que sobre su sistema radicular ejerce el nivel freático. Es bien conocido que la mayoría de los cultivos comunes mueren ó sufren una merma en su producción, cuando la mesa de agua asciende hasta sus raíces.

Es necesario conocer el origen del exceso de agua que induce a elevar el nivel freático. En una zona de regadío la recarga de la mesa de agua generalmente proviene de el embalse mismo, de las perdidas en canales no revestidos, de las bajas eficiencias de riego y de la precipitación directa.

En las regiones húmedas, donde existen problemas de drenaje, generalmente la fuente de recarga del agua subterránea es la lluvia percolada bien sea en la zona misma o en zonas situadas un poco más altas, originando ascenso de los niveles freáticos en las zonas bajas. Otra de las posibles fuentes de recarga, sobre todo en las planicies aluviales, la constituyen los ríos y caños que corren por los diques naturales sobre elevados, de materiales permeables, por donde percola el agua que alimenta la cubeta ó "bajío" adyacente. En la Zona Sur del Lago de Maracaibo, estos 2 fenómenos posiblemente estén ocurriendo.

Para conocer la profundidad y las fluctuaciones del nivel freático, se utilizan comúnmente los pozos de observación (23).

La metodología de la instalación de los pozos de observación se encuen -

tra explícita en la referencia (1).

La ubicación de los pozos de observación varía con el tipo de estudio, - sin embargo, se deben ubicar tratando de ajustarse en lo posible, a una cuadrícula y con la siguiente intensidad de pozos según Kessler, citado por Grassi (10).

<u>Area (Ha.)</u>	<u>Nº de Pozos</u>
100	20
1.000	40
10.000	100
100.000	300

Para el caso de la Zona Sur del Lago-Sector Chama, se instalarían alrededor de 300 pozos de observación para 120.000 Ha.

Un criterio práctico para ubicar pozos de observación, es el de instalarlos cerca de caminos y carreteras, donde sea fácil llegar en vehículo automotor. Se recomienda instalar los pozos próximos a viviendas y orillas de cerca, de manera que estén a salvo de la maquinaria agrícola y no interfieran las labores de campo.

El reconocimiento de la Zona y el análisis de los primeros datos decidirá rápidamente si habrá de instalarse ó no, más pozos de observación.

La lectura de los pozos, por cualquiera de los métodos conocidos, se realizará con un intervalo de 15 ó 30 días, dependiendo de la rapidez de fluctuación del nivel freático. Con frecuencia este intervalo es variado debido a un fenómeno intenso de recarga, como puede ser el riego ó la precipitación. Las lecturas deben intensificarse en las épocas de niveles más altos (pleno invierno ó época de riego) y en la época de niveles más bajos, a fin de tener los valores extremos.

Para las lecturas se usa el método de la sonda eléctrica; el método del tubo de plástico, el cual al introducirse en el pozo se va soplando y al contacto con la mesa de agua produce el sonido característico y el método de la cinta metálica con sonda sonora en el extremo (10).

Cada pozo de observación tendrá su expediente que contendrá la siguiente información:

- 1) Identificación, localización, profundidad y cota del terreno.
- 2) Descripción del perfil que atraviesa
- 3) La primera lectura formal y confiable
- 4) Lecturas sucesivas, con sus respectivas fechas
- 5) Observaciones cada vez que se hace una lectura, sobre fenómenos importantes que ocurren en los alrededores del pozo, por ejemplo si se riega, si hay inundación, si ha llo-vido, etc.
- 6) Gráfica de fluctuaciones de los niveles freáticos
- 7) Indicar la fecha, si se ha tomado muestra de agua para análisis de salinidad.

G.- Estudios de los gradientes de las aguas freáticas

La investigación de drenaje requiere conocer las áreas de recarga y de -descarga, los gradientes a que está sometida la mesa de agua y las direcciones del flujo. El piezómetro es el instrumento que se utiliza para tal determinación y junto con el pozo de observación, constituyen los instrumentos más valioso para determinar el comportamiento de la mesa de agua en el suelo.

El piezómetro mide la carga hidráulica total en el punto situado en la extremidad inferior del tubo, a diferencia del pozo, que mide el nivel de la mesa de

agua en equilibrio con la presión atmosférica.

El piezómetro consiste en un tubo metálico, abierto en los dos extremos y de diámetro entre $3/8"$ y $1/2"$, el cual se entierra verticalmente en el suelo, en íntimo contacto con este y su extremo inferior por debajo de la mesa de agua.

Generalmente en un mismo sitio se instalan 2 ó más piezómetros a diferentes profundidades y separados uno de otro a 20 cm., constituyendo en este caso la batería piezométrica. Deben instalarse tantos piezómetros como estratos permeables confinados haya.

En una misma batería, cuando hay diferencia de carga entre los piezómetros se puede determinar la tendencia a bajar ó subir de la mesa de agua: si la carga es mayor en el piezómetro más superficial la tendencia de la mesa de agua es a bajar, caso muy frecuente en la época donde no actúan las fuentes de recarga. Si la carga es mayor en el piezómetro más profundo, la tendencia de la mesa de agua en esa batería es a subir, caso frecuente en la época de lluvias intensas ó riego - (23).

En algunas baterías no existe gradiente vertical entre los piezómetros enterrados a diferentes profundidades, en este caso el piezómetro mide también la altura de la mesa de agua ó sea, que actúa como pozo de observación. Esta situación ocurre cuando no hay estratos confinados.

Los piezómetros deben instalarse en estratos con buena permeabilidad, que son los que realmente conducen el agua y constituyen generalmente los estratos confinados.

Es posible determinar analíticamente la altura de la mesa de agua con respecto a un plano ubicado en el extremo inferior del piezómetro más profundo, utili -

zando la siguiente ecuación (10):

$$L = \frac{a}{1 + \Delta h}$$

Donde:

L = Altura de la mesa de agua con respecto al plano que pasa por el extremo inferior del piezómetro más profundo.

a = Altura de la mesa de agua dentro del piezómetro más profundo.

Δh = Gradiente hidráulico entre los piezómetros

Para enterrar los piezómetros se usa normalmente 2 métodos:

1) Método de percusión con martillo. Es el que da mejores resultados para profundidades pequeñas (menores de 10 m) y cuando no hay estratos con granzón.

2) El método del chorro de agua a presión. Solo se recomienda utilizarlo cuando el método anterior no funciona bien, como es el caso de profundidades mayores de 10 m. ó presencia de arena gruesa ó granzón en algún estrato. Este método tiene el inconveniente de que muchas veces no hay contacto íntimo entre la parte externa del tubo y el suelo, y en este caso, el piezómetro actúa como un pozo de observación. En la referencia bibliográfica (20) se describen ambas técnicas de instalación de piezómetros.

Generalmente se instala en cada sitio una batería piezométrica acompañada de un pozo de observación, cuidando de que el pozo quede lo suficientemente lejos para no interferir el funcionamiento de los piezómetros. Sin embargo, cuando no existen gradientes verticales, los piezómetros se comportan también como pozos de observación, por tanto, no es necesario la instalación de los últimos, ya que el piezómetro es más económico, más fácil de instalar, fácil de leer y por su peque-

ño diámetro, son bastante sensibles a las fluctuaciones del nivel freático. Este hecho es particularmente notorio en el Sur del Lago-Sector Chama, donde se ensaron algunas baterías piezométricas, no detectándose gradientes verticales hasta la profundidad de 6 m, por lo tanto, la instalación de los pozos de observación no se justifica.

Los piezómetros son particularmente importantes para detectar si un río, caño ó un canal, está actuando como alimentador ó como interceptor de la mesa - de agua, caso este muy importante en algunos caños y ríos del Sur del Lago, que al ir un poco sobre elevados (diques aluviales), podrían en la época de invierno, -- recargar la mesa de agua. Kessler citado por Grassi (10) recomienda instalar piezómetros perpendiculares al cauce y ubicarlos a partir del mismo, en las siguientes progresivas: 10; 40; 100; 250; 500; 1.000 y 2.000 metros, a fin de determinar la ocurrencia de este fenómeno.

H.- Determinación de la conductividad hidráulica

La determinación de la conductividad hidráulica es fundamental en los estudios de drenaje. Es imprescindible su determinación para poder evaluar la capacidad de drenaje de un suelo y poder decidir sobre la ruta a seguir en caso de que se decida su recuperación.

La conductividad hidráulica es necesaria para la aplicación de las fórmulas de espaciamiento de drenes, para el cálculo de los caudales que se mueven en los diferentes estratos del suelo, para la determinación del horizonte barrera, para proyectar el sistema de drenaje y para hacer una estimación aproximada del rendimiento específico de un estrato.

Son muchos los factores de los que depende la conductividad hidráulica,

dentro de los más importantes podrían señalarse la textura, estructura, porosidad, - presencia de grietas, actividad biológica, etc.; en consecuencia, la conductividad hidráulica varía dentro de límites muy amplios, incluso para un mismo suelo, por lo tanto es necesario medirla directamente del suelo.

Hay muchos métodos para medir la conductividad hidráulica y se dividen en métodos de campo y métodos de laboratorio. Los métodos de campo son los más exactos, pues reflejan mejor las condiciones naturales del suelo; sin embargo, tienen el inconveniente de ser más costosos y relativamente laboriosos de realizar. Los métodos de laboratorio son todo lo contrario.

Cuando se trata de estudios de drenaje de áreas extensas, como es el caso del Sur del Lago de Maracaibo, es conveniente tratar de encontrar coeficientes de correlación y regresión entre un número adecuado de pruebas de laboratorio y de campo, de modo que si se comprueba alta correlación, se puede estimar la conductividad hidráulica en el campo a partir de la conductividad hidráulica del laboratorio, utilizando la ecuación de regresión encontrada, lo cual simplifica el trabajo, pues se harían menos determinaciones de campo.

Sería extenso describir todos los métodos para medir la conductividad hidráulica; existe muy buena bibliografía que trata sobre este aspecto, solo se señalan los métodos más comunes y se cita la bibliografía donde se describen.

h.1.- Métodos de laboratorio

La conductividad hidráulica se determina en el laboratorio mediante el uso de permeámetros, entre ellos se tiene el de carga constante para suelos de permeabilidad moderada a rápida y el de carga variable para suelos con permeabilidad lenta (20). El método tiene 2 variantes, para muestras de suelos alterados y muestras -

inalteradas (7).

h.2.- Métodos de campo (20)

h.2.1.- En presencia de mesa de agua

Pozo barrenado simple
Método de Ernst para suelos estratificados
Pozo barrenado doble ó método de Childs
The pipe-cavity method (Kirkham)

h.2.2.- En ausencia de mesa de agua

Método del pozo barrenado seco (USBR)
Método del permeámetro
Poceta de infiltración

1.- Efecto de las mareas, fenómenos de remanso y gastos máximos de los ríos en los sectores de disposición de las aguas drenadas

Para el diseño de la red de drenaje habrá de tomarse muy en cuenta la va
riación de las mareas del Lago, los caudales máximos de los ríos en los sitios de -
disposición de las aguas drenadas y fenómenos de remanso, ya que en las zonas de
poca pendiente, como es el caso de la Zona Sur del Lago, estos factores adquieren
importancia, en virtud de que la energía disponible para el drenaje de la zona es
muy pequeña.

Habrà de medirse por lo tanto, las variaciones de las mareas del Lago de
Maracaibo, los tirantes alcanzados por los ríos y las sobre-elevaciones por efecto
de remanso en las canales ó cauces naturales en los sitios de disposición de las a-
guas de drenaje.

Estos fenómenos, unidos a la insuficiente energía natural de descarga típi-
ca de las zonas bajas, son elemento a considerar en la necesidad de bombeo de las
aguas drenadas (1).

J.- Interpretación de los datos obtenidos

La información que se obtiene en el campo, se procesa para proceder al diagnóstico y pronóstico del problema.

j.1.- Planos de líneas equipotenciales

Con los datos obtenidos de los piezómetros, se elaboran los planos de niveles piezométricos, a razón de 1 plano para cada vez que se haga un registro de los niveles de todos los piezómetros; esto se hace partiendo de un plano de curvas de nivel del terreno donde aparezcan ubicados todos los piezómetros y las respectivas lecturas piezométricas y luego por interpolación, se trazan las líneas equipotenciales. Para el intervalo entre líneas equipotenciales se sigue el mismo criterio que para el trazado de curvas de nivel.

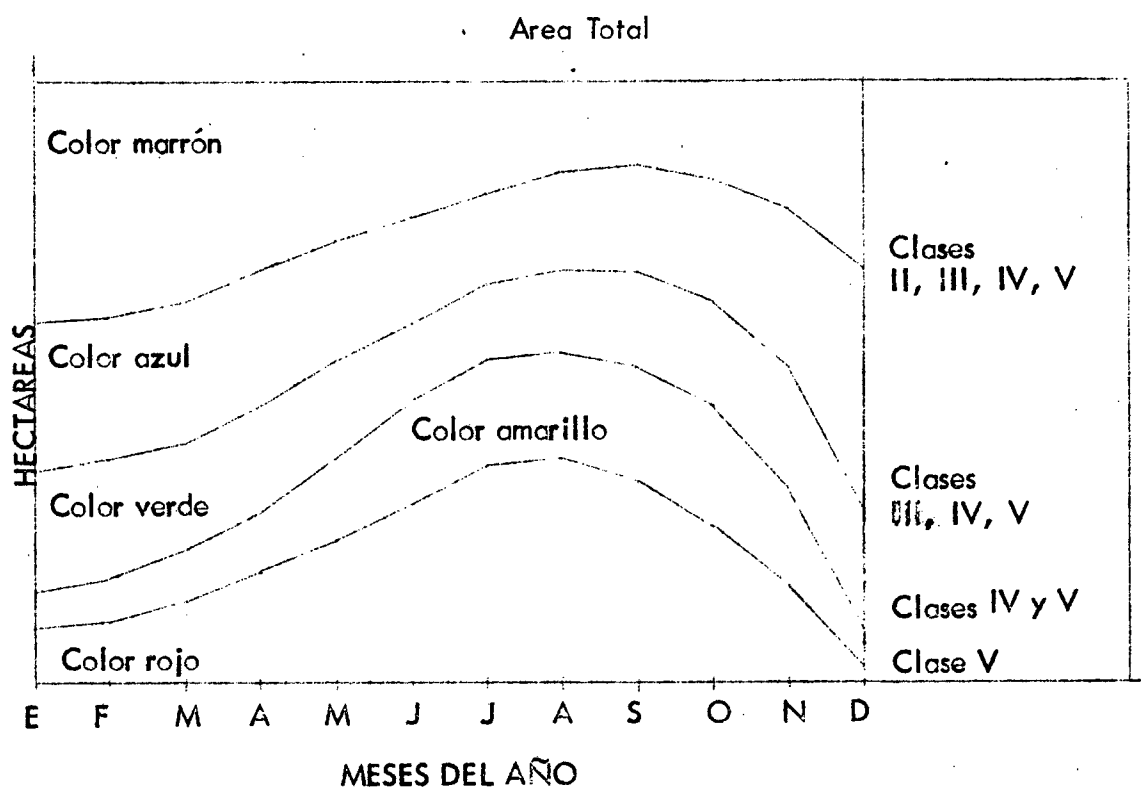
Perpendicularmente a las equipotenciales se trazan las líneas de flujo, que indican la trayectoria de las aguas freáticas, además estas líneas indican los sitios de convergencia ó divergencia del flujo. Así mismo, las equipotenciales muestran las zonas de alta ó baja conductividad hidráulica y se pueden determinar las cuencas freáticas (23).

j.2.- Plano de isohipsas

Las lecturas que se obtienen de los pozos de observación (ó de los piezómetros que esten trabajando como pozos de observación) referidas a la superficie del suelo, se ubican sobre un plano, registrándose además, las profundidades obtenidas en el intercepto de las curvas de igual elevación de nivel freático con las curvas de nivel del terreno; con toda esta información se trazan líneas envolventes para aquellas profundidades que se encuentren en los siguientes intervalos e identificándolas con un color específico (3):

Clase V	de 0,0 a 1,0 m	Color rojo
Clase IV	de 1,0 a 1,50 m	Color amarillo
Clase III	de 1,5 a 2,0 m	Color verde
Clase II	de 2,0 a 3,0 m	Color azul
Clase I	de 3,0 a 4,0 m	Color marrón

Luego, para cada uno de los meses se determinará la variación en área -
de cada una de las clases anteriores y se elabora un gráfico, como el que se ilustra
a continuación (3):



Este gráfico permite ver con objetividad como el nivel freático va afec
tando la zona a través del año.

j.3.- Mapa de profundidades de la barrera impermeable

Con los datos obtenidos en las pruebas de conductividad hidráulica y los perfiles edafológicos y geológicos, se puede elaborar un plano de profundidades de la "barrera", tal como se procede para el trazado de curvas envolventes de profundidades del nivel freático, siguiendo el siguiente intervalo:

	m	m
Envolvente para profundidades de barrera desde	0,0 - 0,50	
" " " " " "	0,50-1,00	
" " " " " "	1,00-1,50	
" " " " " "	1,50-2,00	
" " " " " "	2,00-2,50	
" " " " " "	2,50-3,00	
" " " " " "	Más de 3,00	

j.4.- Plano de salinidad de los suelos

Se elaborará un plano de salinidad en base a la conductividad eléctrica del extracto de saturación, envolviendo las zonas cuyas conductividades eléctricas se encuentren en los siguientes intervalos:

0 - 2 mmhos/cm
2 - 4 mmhos/cm
4-10 mmhos/cm
10- 15 mmhos/cm

En este mismo plano se indicarán con alguna señal de sombreado ó rayado, aquellos sectores que presenten un porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15.

Estos planos son muy útiles para zonas en proceso de salinización, como es el caso de algunas zonas áridas bajo riego; pero en zonas húmedas como es el caso del Sur del Lago, es poco usual encontrar serios problemas de salinidad.

En el caso de encontrarse salinidad ó sospechas de esta, se procederá a tomar, por lo menos 2 veces al año, muestras de agua de todos los piezómetros ó de algunos estratégicamente situados, con el fin de analizar la influencia de la sa

linidad de las aguas freáticas.

j.5.- Plano de conductividad hidráulica del suelo

Con las determinaciones de la conductividad hidráulica del perfil y con el estudio agrológico, se podrán estimar los sectores cuyas conductividades hidráulicas se pueden envolver dentro de los siguientes intervalos:

0,0 - 1,0 cm/hora
1,0 - 2,5 cm/hora
2,5 - 5,0 cm/hora
5,0 - 10,0 cm/hora
10,0 - 20,0 cm/hora
Más de 20,0 cm/hora

K.- Información económica y social (16)

Es indispensable cuando se realiza el estudio de una obra de ingeniería, la recolección y procesamiento de la información económica y social, que permita el respaldo del proyecto.

Es obvio que toda obra de ingeniería debe cumplir una función social y económica. El proyecto de drenaje del Sur del Lago no escapa de esta situación.

La información económica debe dirigirse hacia los siguientes aspectos:

a) Breve descripción de las actividades agropecuarias que se realizan en la zona. En el caso Sur del Lago estaría orientada principalmente hacia la explotación ganadera y el cultivo de musáceas.

b) Influencia de las condiciones actuales de drenaje en la explotación y desarrollo de la zona.

c) Prácticas de drenaje realizadas en la misma.

d) Evaluación de los daños ocasionados por efecto de las deficiencias del drenaje superficial y/o subsuperficial.

e) Evaluación económica de los beneficios a obtener con las obras de drenaje a realizar.

f) Costo de las obras de drenaje a realizar.

La información social debe estar orientada hacia los beneficios sociales - que se lograrían con las obras de drenaje. Generalmente estos beneficios son intangibles y difíciles de evaluar; dentro de ellos podrían mencionarse los siguientes: salvar vidas por ahogo ó por enfermedades causadas por el ambiente no sanificado - producto del mal drenaje, la preservación de la moral, estabilidad y seguridad de la comunidad, por efecto de la solución de un problema que la afecta.

2.- EXPERIMENTACION DE DRENAJE A NIVEL DE PARCELA

En lo que respecta a drenaje es necesario que cierta información sea obtenida por experimentación en la zona misma, pues muchas de las soluciones del drenaje obtenidas en zonas sub-tropicales, son de carácter empírico y sólo aplicables para las condiciones en que fueron obtenidas; por otra parte, en el trópico la experiencia de drenaje es sumamente escasa.

El costo de las investigaciones a nivel de parcela es muy bajo con respecto a las altas economías que se pueden obtener, sobre todo si los resultados obtenidos son aplicables a una zona de influencia extensa.

En el aspecto de drenaje a nivel de parcela, es aconsejable tomar una parcela de unas 10 Ha. en los suelos más representativos de la Zona, a fin de lograr los siguientes objetivos básicos:

- 1) Influencia del drenaje en el rendimiento de los cultivos.
- 2) Ensayo de diversos métodos de drenaje subsuperficial.

a) Zanjas abiertas

- b) Drenes cubiertos
- c) Drenaje por bombeo
- d) Subsulado

3) Ensayo sobre diferentes espaciamientos de zanjas abiertas y drenes cubiertos.

Para el espaciamiento de drenes se usaran algunas de las siguientes fórmulas: (1)

3.1.) Mesa de agua estacionaria:

Kirkham y De Zeeuw
Aronovici y Donnan
Van Deemter
Hooghoudt
Visser

3.2.) Mesa de agua no estacionaria:

Neal
Walker
Glover (USBR)

4) Ensayo sobre diferentes profundidades de drenes: zanjas - abiertas y drenes cubiertos.

5) Ensayos sobre curvas de abatimiento de nivel freático y - rendimiento específico de un pozo profundo, aprovechando algunos de los existentes en la zona.

6) Ensayos de diversos métodos de drenaje superficial: camellones grandes, "bedding", alizado, canales al azar.

7) Determinación de los daños y beneficios causados en los cultivos sometidos a diferentes grados de drenabilidad.

8) Determinación de los costos de drenaje por hectárea para cada uno de los métodos ensayados.

9) Selección del método ó métodos de drenaje más convenientes.

3.- ANTEPROYECTOS ALTERNATIVOS

Con toda la información recopilada y analizada, se procederá a la elaboración de diferentes anteproyectos alternativos de drenaje, de manera que se tenga la oportunidad de escoger el anteproyecto más viable desde el punto de vista económico y social. Los anteproyectos alternativos incluyen los cálculos aproximados de los costos de las obras de ingeniería, así como los beneficios que cada uno de los mismos supone.

El procedimiento a seguir en la elaboración de los anteproyectos alternativos es el siguiente: A) Trazados de sistemas de drenaje primarios, secundarios y terciarios. B) Trazado de la red de drenaje interno. C) Discusión y selección de los anteproyectos.

A.- Trazado de la red primaria, secundaria y terciaria

Para el desagüe se dará prioridad al drenaje natural y en última instancia se hará la construcción de canales, siempre y cuando sea más económica que la primera solución. Cada una de las sub-cuencas tendrá un colector principal, que puede ser un cauce natural ó un canal principal. Al colector principal concurren los colectores secundarios y a estos los terciarios, formando la espinal dorsal del drenaje.

Generalmente la red primaria, secundaria y terciaria siguen las depresiones naturales, siempre que ello sea compatible con una buena alineación y condiciones topográficas favorables.

Para una zona tan extensa, como es el caso de la Zona Sur del Lago, Sec-

tor Chama, los colectores secundarios podrían separarse aproximadamente, uno del otro, de 5 a 10 Km. y los terciarios con separación de 1 a 2 Km. Sin embargo, un mejor conocimiento de la Zona, permitirá definir mejor el criterio de ubicación y espaciamiento de la red de drenaje.

Las pendientes de los canales deben estar normalmente entre 0,5 y 1,5 - 0/00 (17). Sin embargo, en las áreas de mal drenaje se aceptan pendientes mínimas de 0,2 0/00, lo cual ocasiona serias dificultades desde el punto de vista de di seño y mantenimiento (26).

El coeficiente de rugosidad se determinará experimentalmente (26).

Las profundidades de la red se fija a partir de las profundidades de los co lectores terciarios. La profundidad de los colectores terciarios debe ser tal que - permita el desagüe de la red de colectores utilizados en drenaje subsuperficial. A partir de la profundidad de los colectores terciarios se estima la profundidad de los colectores secundarios y finalmente la de los primarios.

Los taludes de los canales estarán dados principalmente por el tipo de sue lo (15) (25).

La velocidad de las aguas debe ser tal que no produzca erosión ni sedimen tación (15) (25).

Los gastos de la red de drenaje se escogerán de acuerdo a la relación beneficio-costo más favorable, obtenida para diversos grados de drenabilidad (coefi ci ente de drenaje) y que más adelante se señalará.

B.-.- Trazado de la red de drenaje interno

Para el trazado de la red de drenaje interno se tendrá muy en cuenta la información obtenida en la zona sobre cultivos, topografía, niveles freáticos, con in formación

ductividad hidráulica de los suelos, gradientes hidráulicos, cuencas freáticas, horizontes barrera, estratos conductores, zonas de recarga y descarga, áreas con problemas de drenaje, colectores principales, coeficientes de drenaje, etc. (2) (23).

El trazado de la red de drenaje interno debe lograr los siguientes objetivos (20) (3):

- a) Interceptar las fuentes de recarga más importantes.
- b) Ubicar los drenes perpendiculares a las líneas de flujo en los sectores de bajo gradiente hidráulico.
- c) Garantizar la salida, hacia las áreas de disposición de las aguas, de los colectores principales.
- d) Localizar los interceptores donde efectivamente cumplen su función ó sea, en los sectores donde las isohipsas muestren que el nivel freático está restringiendo el desarrollo de las raíces.
- e) Localizar los drenes de manera que intercepten estratos permeables.
- f) Localizar en lo posible los drenes abiertos (zanjas) en los linderos de la finca.

C.- Discusión y selección de anteproyectos (16)

Una vez definido el trazado de la red de drenaje y demás obras conexas, se procede a elaborar varios anteproyectos alternativos de drenaje, partiendo del principio de que a medida que aumenta la intensidad de drenaje, el costo de las obras de ingeniería aumenta, aumentando lógicamente también los beneficios. - Es necesario presentar varios anteproyectos alternativos, para tener la oportunidad de escoger el más favorable punto de vista económico y social.

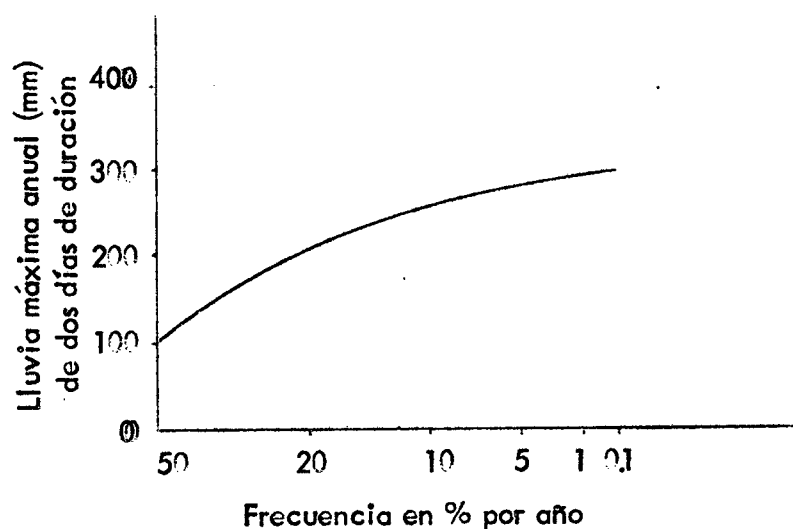
El procedimiento que se sigue para la formulación de varios anteproyec

tos alternativos y selección del más favorable, es el siguiente:

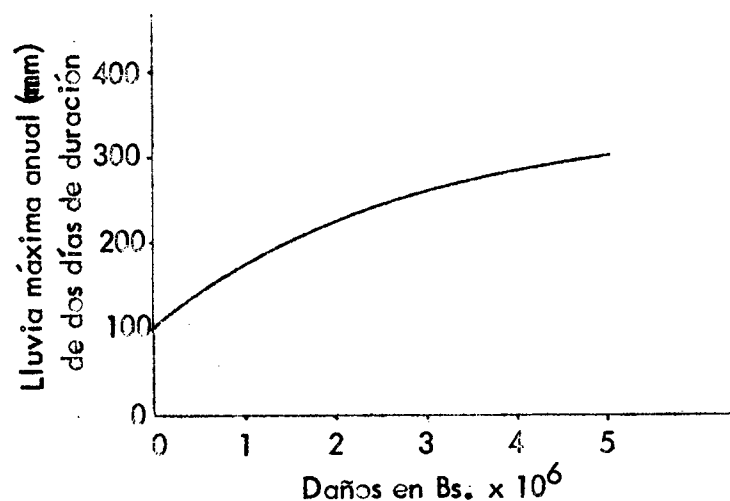
Se fija primeramente la duración de la tormenta de diseño, de acuerdo a las exigencias de drenaje de los cultivos actuales y potenciales de la zona objeto del Estudio. Para los cultivos más exigentes se escogen tormentas de corta duración y tiempos de drenaje cortos y para cultivos menos exigentes se escogen tormentas de mayor duración y tiempos de drenaje más largos.

En este trabajo, para fines ilustrativos, se fijará una tormenta de diseño de dos (2) días de duración, pues los cultivos potenciales del sector Chama como son el plátano, el cacao, la palma africana, son susceptibles al exceso de humedad. Es de advertir, que la zona también se desarrollará bajo pastos, por lo tanto habría que considerar para los sectores donde se vaya a sembrar este cultivo, el mismo análisis anterior y escoger probablemente tormentas y tiempos de drenaje mayores, dependiendo de las variedades de pasto a sembrar.

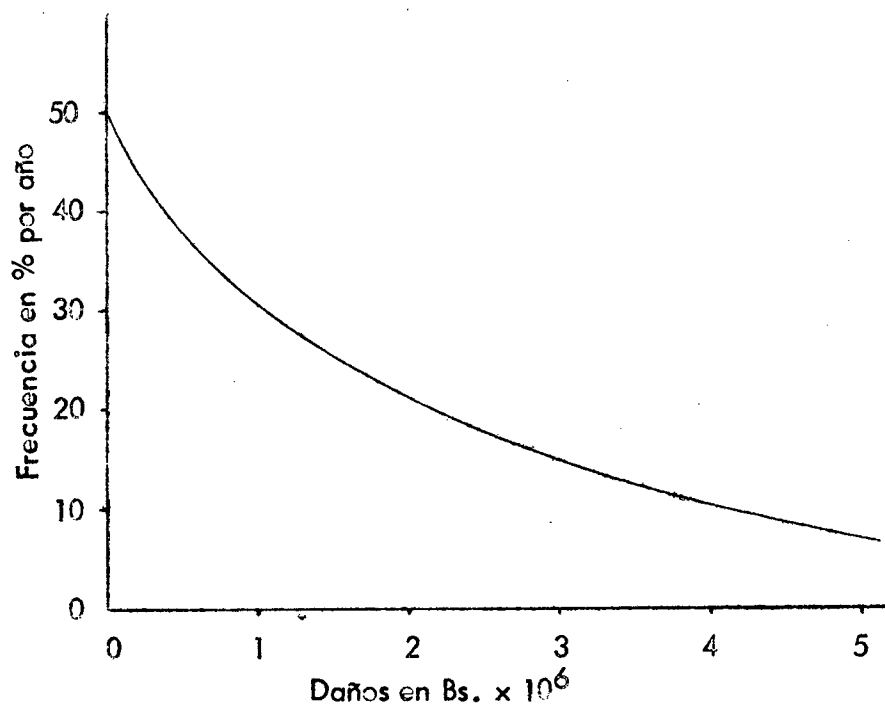
En base a la información hidrológica se prepara un gráfico de la tormenta de 2 días de duración y diversos porcentajes de probabilidad anual de ocurrencia. Tal gráfico en forma esquemática es el siguiente:



Luego se elabora el gráfico de los daños ocasionados por las tormentas del gráfico anterior. Estos daños se refieren a los daños anuales promedio.

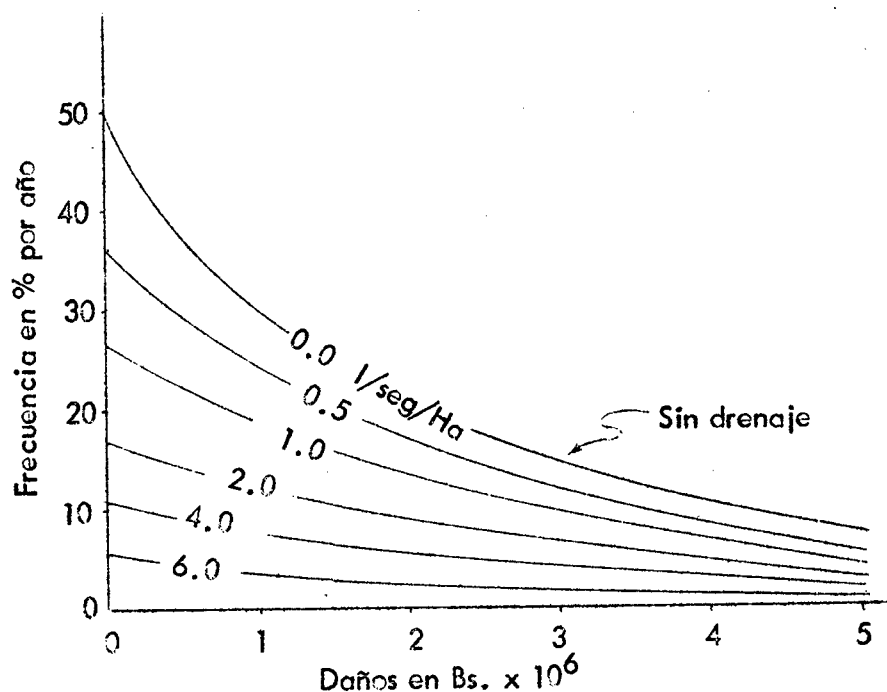


Con los dos gráficos anteriores se elabora el gráfico de probabilidad - de ocurrencia de la tormenta de 2 días de duración y los daños que causa la misma.



Este gráfico muestra la relación entre la frecuencia de la lluvia de 2 - días y los daños ocasionados. El área comprendida entre la curva y los ejes de co_ordenadas representa el daño anual promedio en bolívares.

Ahora bien, si la tormenta de diseño considerada se somete a diversos grados de drenaje, por ejemplo 0,5; 1; 2; 4; 6 lt/seg/Ha., los daños causados por la misma disminuyen a medida que aumenta el grado de drenaje. El área compren_dida entre cada una de las curvas y los ejes de coordenadas, representa los daños anuales promedio de cada uno de los posibles anteproyectos de drenaje. El gráfi-co siguiente ilustra esta situación.

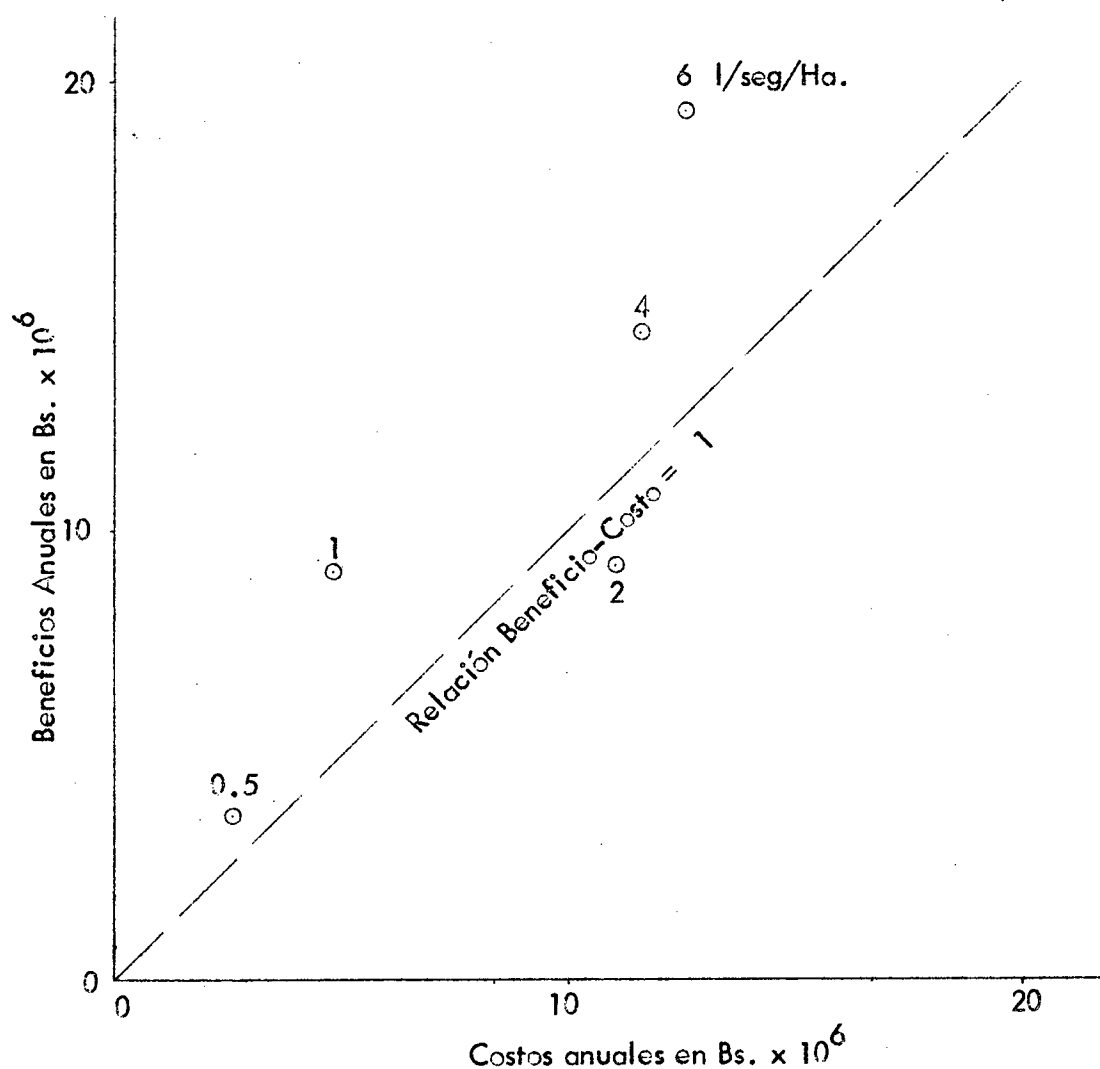


El beneficio de cada anteproyecto de drenaje se obtiene por la dife-rencia entre los daños causados por la tormenta sin drenaje y los daños ocasiona_dos por el grado de drenaje considerado y que en el gráfico anterior se indica

por la diferencia de área entre cada una de las curvas que representan los diferentes grados de drenaje y el área de la curva "sin drenaje".

Logicamente, a medida que aumenta el grado de drenaje los beneficios aumentan, pero también aumentan los costos de las obras de Ingeniería. Para cada uno de los anteproyectos de drenaje se estima el costo de los canales y estructuras conexas, el mantenimiento del sistema de drenaje, los intereses del capital y cualquier otro costo imputable a cada uno de los anteproyectos.

Con los beneficios y los costos de cada anteproyecto se prepara el siguiente gráfico:



El anteproyecto de drenaje de capacidad 6 lt/seg/Ha, es el que presenta los mayores beneficios netos, por tanto es el más aconsejable si el país está en condiciones de financiarlo.

El anteproyecto de drenaje de capacidad 1 lt/seg/Ha, es el que presenta la mayor relación beneficio-costos, y se aconseja en caso de que el país no pueda ejecutar el anteproyecto anterior, por falta de recursos financieros.

IV.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY.- Drainage of Agricultural Lands. Ed. James H. Luthin. Agronomy. Vol. 7., 1957.
- 2.- BUREAU OF RECLAMATION.- Land Drainage Techniques and Standards. Denver, Colorado, 1964.
- 3.- CASTILLA P., OSCAR.- Proceso de Estudio e Investigación del Problema de Aguas Freáticas. IV Seminario Latinoamericano de Irrigación. Bogotá. Colombia 1966.
- 4.- COLMENARES G.; GONZALEZ R. - Estudio Preliminar de Drenaje de la Zona Sur del Lago de Maracaibo, Cuenca Laguneta del Zulia. Estado Zulia. M. O.P. División de Edafología. Maracaibo, Julio 1967.
- 5.- COMISION INTERMINISTERIAL ZONA SUR DEL LAGO.- Proyecto de Desarrollo de la Zona Sur del Lago de Maracaibo. Caracas 1965.
- 6.- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS.- Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Manual de Agricultura N° 60.- Feb. 1954.
- 7.- DE WEIST, R.P.M.- Geohydrology. John Wiley and Sons, New York 1966
- 8.- FACULTAD DE INGENIERIA.U.C.V.- Desarrollo de Aguas Subterráneas. Caracas, 1967.
- 9.- GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY.- Flood Frequency Analyses. Manual of Hydrology: Part. 3. Flood-Flow Techniques. Paper 1543-A. United States Government Printing Office, Wash, 1960.
- 10.- GRASSI, CARLOS J.: Investigaciones y Diagnósticos de los Problemas de Drenaje en Tierras Irrigadas. Preliminar. Material de enseñanza. C.I.D.I.A.T. Mérida, Julio 1968.
- 11.- GRASSI, CARLOS J.- Estimación de los Usos Consuntivos de Agua y Requie - rimiento de riego con fines de formulación y diseños de Proyectos. Criterios y Procedimientos. C.I.D.I.A.T. Mérida, Enero 1968.
- 12.- ISRAELSEN O.; HANSEN V.- Principios y Aplicaciones del Riego 2a. Edición Edit. Reverté S.A., Mex. 1965.
- 13.- KIJEWSKI J.; COLINA J.M.; MADERO A.; BOJANOWSKY Z.- Estudio Agrológico Semidetallado y de Clasificación de tierras con fines de Drenaje de

la Zona Sur del Lago (en Publicación) M.O.P. División de Edafología. El Vigía. Edo. Mérida, 1968.

- 14.- KIJEWski J.- Normas de clasificación de tierras con fines de Drenaje para - la Zona Sur del Lago de Maracaibo. M.O.P. Div. de Edafología, El Vigía Edo. Mérida, 1968.
- 15.- KING W. H.; BRATER E.- Manual de Hidráulica. Traducido de la 4a. Edición en Inglés para Rafael García Díaz México D.F. Edo. OTEHA 1962. 536 p.
- 16.- KUIPER E.- Water Resources Development. Planning Engineering and Economics. Butterworths. London, 1965.
- 17.- KWIERS; RODRIGUEZ H. - Riego y Drenaje. Tomo I. Ingeniería Hidráulica. I.A.N. Caracas 1966.
- 18.- LOPEZ, J; MATHINSON K.- Correlación entre la evapotranspiración y la evaporación medida con algunos instrumentos meteorológicos. II Jornadas Venezolanas de Riego. Caracas 1966.
- 19.- LUEDER D.R.- Aerial photographic interpretation. Principles Applications. Mc Graw-Hill Book. Co. Inc. New York 1959.
- 20.- LUTHIN, J.N.- Drainage Engineering, Edit. John Wiley and Sons. Inc. New York 1965.
- 21.- M.O.P.- Manual de Clasificación de tierras con fines de riego. Traduce - Ing° Antonio J. Estrada. Div. de Edafología. Caracas, 1963.
- 22.- M.O.P.- Guía para la elaboración y presentación de estudios edafotécnicos División de Edafología. Caracas, 1967.
- 23.- SOIL CONSERVATION SERVICE.- National engineering handbook. Section 16. U.S.A. 1961.
- 24.- TERCERO BONIFAZ, C.- El método de la ruta crítica. Publicación técnica trimestral de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. México Julio-Agosto-Septiembre, 1963.
- 25.- TRUEBA CORONEL, S.- Hidráulica. México D.F. Norgis Editores S.A., 1959.
- 26.- VEN TE CHOW.- Open Channel Hydraulics. Mc Graw-Hill Book Co. New York 1959.