



IICA-CIDIA



Centro Interamericano
Documentación
Información Agraria
08 11 / 1994
IICA - CIDIA

CONVENIO IICA-SENARA II ETAPA DEL PROYECTO DE RIEGO ARENAL-TEMPISQUE

**CONSULTORIA EN EXTENSIONISMO DE DRENAJE Y
OPERACION DE SISTEMAS DE RIEGO**

**INFORME FINAL
PERIODO JULIO 1991-JULIO 1993**

**BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
FONDO DE INVERSION DE VENEZUELA**

SERVICIO NACIONAL DE AGUAS SUBTERRANEAS, RIEGO Y AVENAMIENTO

OFICINA DEL IICA EN COSTA RICA



1993-07-01

CONVENIO IICA-SENARA

II ETAPA DEL PROYECTO DE RIEGO ARENAL-TEMPISQUE

1993-07-01
1993-07-01
1993-07-01

**CONSULTORIA EN EXTENSIONISMO DE DRENAJE Y
OPERACION DE SISTEMAS DE RIEGO**

**INFORME FINAL
PERIODO JULIO 1991-JULIO 1993**

R. Humberto Pizarro-C.

1993

11CA
F06
S-24 8-29-91
~~BU-1109~~

00006709

**CONSULTORIA EN EXTENSIONISMO DE DRENAJE Y
OPERACION DE SISTEMAS DE RIEGO
INFORME FINAL**

TABLA DE CONTENIDO

PAGINA

RECONOCIMIENTO	iii
INTRODUCCION	1
I. OBJETIVOS DE LA CONSULTORIA	2
1.1 Objetivos básicos	2
1.2 Tareas específicas	3
1.3 Entorno de la consultoría	4
1.4 Situación encontrada	5
II. DESARROLLO DE LA CONSULTORIA	7
2.1 Actividades cumplidas	7
2.2 Asesoramiento a la jefatura del Distrito y a SENARA	34
2.3 Actividades interconsultorías	35
2.4 Cumplimiento de los términos de referencia de la Consultoría	37
2.4.1 Asesoramiento en los programas de Extensión y desarrollo de la agricultura de riego en el Distrito	37
2.4.2 Asesoramiento en los programas de drenaje al personal del Depto. de Desarrollo	41
2.4.3 Asesoramiento al personal del Depto. de Operación	42
2.4.4 Capacitación	44
III. RESUMEN DE LOS LOGROS DE LA CONSULTORIA	48
IV. RECOMENDACIONES	49
V. ANEXOS	51

RECONOCIMIENTO

El Consultor en Extensionismo de Drenaje y Operación de Sistema de Riego expresa su agradecimiento a:

La Gerencia, Subgerencia y la División de Desarrollo del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA) por la colaboración recibida para el desempeño de sus funciones.

La Jefatura y Personal de todos los departamentos del Distrito de Riego Arenal, porque gracias a su intervención se han obtenido los resultados que sistetizamos en este documento.

La coordinación del Plan de Acción del IICA en Costa Rica: Coordinador, Personal Profesional y Administrativo, cuya orientación, participación y ayuda permitieron el cumplimiento del compromiso contractual e hicieron posible la difusión de los principios del riego y drenaje.

Los consultores, señores Víctor Manuel Valdés R. y Bommathanahalli Ramakrishna, con quienes compartí las inquietudes de la consultoría; que reciban el testimonio de mi aprecio y gratitud. Los ingenieros Diego Blanco, Roberto Murillo, Roberto Spesny, Alexandra Borbón, Gustavo Ajún, Emilio Alpízar y Harvey Alvarado, con quienes recorrí los canales, drenes y parcelas de riego, y cuyo calor humano hizo grato el trabajo y facilitó la obtención de los resultados; valoro su amistad y ayuda.

Los supervisores de la Consultoría por parte del SENARA: Dr. Edgar Zúñiga e Ing. Luis Diego Castillo, por su cooperación e intervención para encaminar la realización de la labor encomendada.

INTRODUCCION

La consultoría en Extensionismo de Drenaje y Operación de Sistemas de Riego ha cumplido a cabalidad la función encomendada, a través de los términos de referencia y de las demandas de los directivos del SENARA y del Distrito de Riego Arenal. La misión de completar el esquema de Desarrollo del Sistema, con el componente no estructural referido: a la operación de la distribución del agua, a la instalación de estaciones hidrométricas, a la calibración de estructuras de medición, a la determinación de la eficiencia del uso del agua de riego, a la capacitación de los funcionarios encargados de velar por un buen servicio al usuario, a la transferencia de la tecnología del riego a los usuarios para lograr la productividad y la producción proyectadas, a la determinación de los efectos del riego en las necesidades de drenaje para preservar el potencial productivo de la tierra, así como el desarrollo parcelario, se han realizado a plenitud. La tarea ha sido emprendida, debiendo continuarse para ayudar a alcanzar la madurez del proyecto de Riego Arenal-Tempisque y que se alcancen los beneficios esperados para bienestar de los productores y satisfacción del país.

La consultoría centró sus esfuerzos en el área bajo riego y se extendió, según las circunstancias, a zonas tanto de la primera como de la segunda etapa, obteniendo resultados y sacando conclusiones que tienen validez en todo el ámbito del Distrito.

El gran compromiso de la aplicación de la experiencia adquirida durante el período de trabajo conjunto, por los miembros de los Departamentos de Desarrollo y Operación y Mantenimiento, es de larga duración y en la cual la constancia y buena disposición de los funcionarios, así como la participación de los usuarios, juegan un rol capital para que en un futuro próximo, la agricultura de regadío sostenible sea en el Distrito de Riego-Arenal, una actividad económicamente atractiva.

En los ocho informes trimestrales, en las publicaciones técnicas y en las comunicaciones internas que hemos presentado se detalla la labor realizada durante la vigencia de la consultoría. Nuestra tarea fue concebida para un trabajo interno en el Distrito de Riego Arenal, para colaborar con la función de la operación del sistema de riego, incluyendo la distribución del agua, la asistencia técnica a los usuarios, la capacitación a los funcionarios de la institución y la asesoría, tanto a la jefatura del Distrito como a la Gerencia de SENARA, cuyo cumplimiento nos ha deparado grandes satisfacciones. Con esta consultoría se iniciaron los estudios de necesidades de drenaje, de parcelas de ensayo, de eficiencia de utilización del agua de riego, de la instalación de estaciones hidrométricas, de la planificación del plan de cultivo y riego, y los estudios de la tarifa volumétrica, lo que permitirá un ordenamiento de la agricultura de regadío en el Distrito de Riego Arenal.

I. OBJETIVOS DE LA CONSULTORIA EN EXTENSIONISMO DE DRENAJE Y OPERACION DE SISTEMAS DE RIEGO

La Consultoría en Extensionismo de Drenaje y Operación de Sistemas de Riego se inserta en el Programa de Desarrollo de la Agricultura de Regadío del Proyecto Arenal-Tempisque, que ha puesto en marcha el gobierno de Costa Rica mediante la construcción de la infraestructura, que asegura la derivación de las aguas de la Laguna Arenal y de la Vertiente del Atlántico, para regar, progresivamente, tierras de la vertiente del Pacífico.

Con esta consultoría se inicia la actividad no estructural encaminada a lograr el empleo racional del agua de riego, para optimizar el uso de los insumos de la producción agrícola. Estas acciones están dirigidas a poner en funcionamiento la transferencia de tecnología, para alcanzar, en un tiempo razonable, niveles de bienestar satisfactorio, principalmente de los beneficiarios de las tierras del Instituto de Desarrollo Agrario (IDA).

1.1 OBJETIVOS BASICOS

Asesorar al personal que trabaja en las áreas de extensión y desarrollo agrícola, así como en la capacitación de los mismos; colaborar con el Departamento de Desarrollo del Distrito en la programación de las parcelas de demostración, en la planeación de la piezometría que se construya para la observación de los niveles de los mantos freáticos, en la capacitación de los productores agrícolas; colaborar con el Departamento de Operación en la formulación y seguimiento de los planes anuales de riego y en la determinación de las eficiencias y capacitación a su personal. Tomará conocimiento de los diseños elaborados para el proyecto, así como de los contratos de préstamos y convenios de cooperación técnica celebrados entre el SENARA y las distintas instituciones nacionales e internacionales relativos a su área de responsabilidad, para lograr los objetivos del Proyecto.

1.2 TAREAS ESPECIFICAS

1.2.1 Asesoramiento en los programas de extensión y desarrollo de la agricultura de riego en el Distrito

- a. Colaborará con la programación, ejecución y evaluación de las parcelas de demostración que el Distrito deba establecer para el logro de los objetivos.
- b. Colaborará con el Departamento de Desarrollo del Distrito en los Programas de extensionismo y asistencia técnica de riego y drenaje, que deban implantarse entre los usuarios para lograr en el menor tiempo, los incrementos de producción y productividad.

- c. Colaborará con el Departamento de Desarrollo, estrechamente coordinado con los investigadores, en los programas de formulación de recetas de riego que incluyan métodos y sistemas de riego, láminas y frecuencias de los mismos.
- d. Colaborará con el Departamento de Desarrollo en la formulación y revisión periódica de los paquetes tecnológicos de los cultivos principales de la región.
- e. Auxiliará a la oficina de estadística del Distrito en la formulación, análisis y evaluación de la estadística básica, tanto en lo que se refiere al área de riego como de desarrollo agropecuario.

1.2.2 Asesoramiento en los programas de drenaje al personal del Departamento de Desarrollo

- a. Colaborará con el Departamento de Desarrollo del Distrito en el diseño y construcción de la red piezométrica que se construya en el mismo, con el objeto de observar los niveles de los mantos freáticos y sus fluctuaciones.
- b. Colaborará con el personal del Departamento de Desarrollo en la formulación de los planos de isobatas e isohypsas, así como con sus evoluciones.
- c. En función de lo anterior, recomendará al Departamento de Diseño y Construcción, la construcción de la red secundaria de drenaje en lo que se refiere a la dirección, sentido, profundidad y separación de los drenes agrícolas.
- d. Colaborará con el Departamento de Desarrollo en la formulación de recetas de drenaje parcelario superficial y/o subterráneo.

1.2.3 Asesoramiento al personal del Departamento de Operación

- a. Colaborará con el personal del Departamento de Operación, en la formulación de los planes anuales de riego, su seguimiento y evaluación.
- b. Colaborará con el personal de Operación en la determinación de las eficiencias de conducción, operación parcelaria y total.

- c. **Colaborará con el personal del Departamento de Operación en el diseño de las estaciones de aforo, calibración de estructura y diseño de puntos de control.**
- d. **Colaborará con el personal del Departamento de Operación en la elaboración de formatos para informes de operación y estadística de riego.**

1.2.4 Capacitación

- a. **Impartirá al personal del "SENARA" cursillos periódicos de capacitación en los temas relacionados con la agricultura de riego.**
- b. **Colaborará con el Departamento de Desarrollo en la formulación de los programas de capacitación al productor, en lo relativo a la preparación de tierras y manejo del agua de riego.**
- c. **Impartirá cursos de capacitación a personal del Departamento de Operación sobre los distintos métodos de aforo de caudales en los canales y estructuras del sistema de distribución. Asimismo, adiestrará a dicho personal en el uso de los distintos tipos de molinetes.**
- d. **Asesorará y auxiliará a la Gerencia del SENARA y a la Jefatura del Distrito Arenal en todos aquellos temas relacionados con su profesión en los que sea consultado.**

1.3 ENTORNO DE LA CONSULTORIA

La distribución temporal de la precipitación en el área agrícola del Distrito permite resaltar dos períodos de sequía y dos períodos de lluvia; la presencia bimodal de la precipitación se inicia en mayo y junio, con un período seco en julio. En agosto, setiembre y octubre, se recibe el 50% de la precipitación total anual. La segunda época seca se extiende de noviembre a abril, lo que pone en evidencia el alto riesgo que conlleva la agricultura pluvial. También debemos destacar la elevada evaporación que anualmente supera a la precipitación; consecuentemente, la agricultura intensiva sólo es posible mediante el riego. Esto ha sido comprendido y ha dado lugar a la construcción de la infraestructura necesaria para aprovechar los caudales turbinados, por las centrales hidroeléctricas de Arenal-Corobicí y Sandillal, poniéndose a disposición del riego el caudal generado que alimentará los canales del Oeste y del Sur, cuyas capacidades son de 55 m³/s y 30 m³/s respectivamente. El segundo servirá para regar 4245.0 ha en el Subdistrito Cañas, potencialmente 5000.0 ha en el Subdistrito Lajas y 4400.0 ha en el Subdistrito Abangares, para un total de 13645.0 ha. Las 311.0 ha de la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez son

utilizadas para sus actividades de generación y transferencia de tecnología. El Canal del Oeste regará 30071 ha (6225 en el Subdistrito Piedras, incluyendo las 700 ha de Bagatzí que son regadas por bombeo del río Piedras, 5445 ha del Subdistrito Cabuyo, 14000 ha del Subdistrito Tempisque y 10400 del Subdistrito Zapandí Sur.

Bajo este esquema está previsto el riego por gravedad de 50776 ha. En el momento actual (julio de 1993) se han construido 8.5 km del canal del Sur, con su capacidad de 30 m³/s y se riegan 4245 ha (San Luis es abastecido a partir de una desviación en el río Cañas y de un traspase del canal del sur al canal San Luis, y la Estación Experimental se alimenta de una derivación en el río Higuerón. Una granja piscícola es también alimentada por el canal del Sur. El canal del Oeste está en construcción y probablemente la primera área de riego entrará en funciones en enero de 1995. No obstante, en esta parte del Distrito se practica la agricultura de regadío en fincas privadas mediante el bombeo del agua proveniente de los ríos Tenorio, Blanco, Paso Ancho y Tempisque, y las fincas del IDA en Bagatzí son regadas con el bombeo del río Piedras.

Durante el período que se viene practicando la agricultura de regadío en el Distrito, los tres cultivos que ocupan, en promedio, el 97% de la superficie cultivada son: arroz, caña de azúcar y pastos. El primero y el último se riegan por inundación y el segundo por surcos; sin embargo, en la mayoría de los casos los surcos no están bien definidos y el riego se efectúa por inundación, por lo que la eficiencia de aplicación es baja. El arroz para su crecimiento requiere condiciones de saturación, lo cual se da mediante la lámina de mantenimiento que, en general, se satisface con un caudal en circulación permanente, lo que eleva el consumo. Esta situación se ve favorecida por la vigencia de la tarifa por ha, donde la contribución del usuario se hace de acuerdo con la superficie que posee, independientemente del volumen de agua recibida.

1.4 SITUACION ENCONTRADA

Al entrar en funciones la Consultoría en Extensionismo de Drenaje y Operación de Sistemas de Riego, el Distrito de Riego Arenal disponía de:

- Una red de canales principales y secundarios, la mayoría de ellos revestidos para conducir el agua a los usuarios y provistos de compuertas de distribución y de retención y obras de disipación de energía, pero no de medición de caudales.

- Seis áreas donde se practica la agricultura de regadío son: San Luis, Paso Hondo, Ampliación Paso Hondo, La Guaría, Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez y Bagatzí, donde los cultivos predominantes son el arroz, la caña de azúcar y los pastos.

- Grupos de beneficiarios del IDA asentados en San Luis, Paso Hondo y Bagatzf; en este último se cultiva arroz con dos cosechas al año sin ningún cultivo intermedio .

- Cuatro fuentes principales del recurso hídrico empleadas en el riego:

- 1) Las aguas provenientes de la laguna Arenal, turbinadas por las centrales hidroeléctricas, las cuales son derivadas por el canal del Sur para regar las áreas de La Guaria, Paso Hondo, Ampliación Paso Hondo, así como el sector margen derecha de San Luis .
- 2) Las aguas del río Cañas, derivadas al canal San Luis para regar el área de San Luis.
- 3) Las aguas derivadas del río Higuierón, para regar las tierras de la Estación Experimental.
- 4) Las aguas bombeadas del río Piedras para regar el área de Bagatzf.

- Abundancia de agua de riego en las áreas de La Guaria Paso Hondo, Ampliación Paso Hondo y sector margen derecha. Para las 4245 ha el canal del Sur conduce, usualmente, 15 m³/s, un equivalente de 3.53 l/s ha. Por el contrario, en San Luis y en Bagatzf, a causa de la disminución durante el verano (noviembre-abril) del caudal en el río Cañas y en el río Piedras hay problemas de escasez de agua.

- No existía una red hidrométrica para la medición de los caudales, por lo que la distribución del agua era sólo estimativa.

- El Departamento de Operación y Mantenimiento disponía de cuatro ingenieros, dos Técnicos de nivel superior y seis canaleros para la Operación y Mantenimiento. El Departamento de Desarrollo, que ofrecía la asistencia técnica a los usuarios en aspectos agronómicos, disponía de 5 Ingenieros Agrónomos generalistas, 2 Economistas Agrícolas, 2 Ingenieros Zootecnistas, 1 Ingeniero Forestal, un técnico en Topografía y un técnico en Sociología. Con este recurso humano se programó las actividades de capacitación de los usuarios y de los profesionales del Distrito, los ensayos en las parcelas de demostración para determinar los parámetros del riego y los requerimientos de riego en los cultivos, así como las actividades propias de la operación del sistema de riego y la capacitación del personal de ese departamento.

El equipo disponible para la labor de riego y drenaje se limitaba a dos molinetes y dos niveles de ingenieros. Los aforadores Parshall construidos en los canales

San Luis y Bagatzí no se utilizaban. La intervención a nivel de finca de los encargados de la asistencia técnica en relación con el riego y drenaje era muy reducida.

II. DESARROLLO DE LA CONSULTORIA

2.1 ACTIVIDADES CUMPLIDAS

La consultoría en Extensivismo de Drenaje y Operación de Sistemas de Riego se inició el 17 de julio de 1991 y se completará el 16 de julio de 1993.

La preocupación de la consultoría se centró en mostrar la importancia que debe recibir el aspecto no estructural en un sistema de riego, para alcanzar los objetivos de desarrollo agropecuario sostenible y el bienestar de la comunidad rural. Tanto la infraestructura física como el desarrollo físico de la tierra juegan un rol capital en la agricultura de regadío, la primera para conducir el agua desde la fuente hasta la cabecera de la parcela y, el segundo, para un adecuado aprovechamiento del recurso hídrico, a fin de que el binomio tierra-agua cree el ambiente propicio para la prosperidad de las plantas, obteniéndose los mayores rendimientos y, consecuentemente, la mayor rentabilidad que haga de la agricultura una actividad económicamente atractiva.

En ese sentido, las siguientes tareas fueron desarrolladas durante la ejecución de la consultoría:

2.1.1 La medición de los caudales y la implantación de una metodología para la ejecución de los aforos y los cálculos del caudal

La manera más generalizada de evaluar los caudales en un canal es el uso del producto área por velocidad, es decir, la sección transversal multiplicada por la velocidad media. El área mojada en el canal se mide por sondeos, introduciendo a distancias convenientes una varilla graduada. De esa manera se mide el tirante y la distancia horizontal que separa dos tirantes consecutivos; luego, asociando el área parcial del canal a una figura geométrica regular (rectángulo, triángulo, trapecio), se calcula el área parcial y por adiciones se obtiene el área total.

Para medir la velocidad media se usa el procedimiento del flotador y el molinete; el primero mide la velocidad superficial que, multiplicada por un factor de conversión, permite hallar la velocidad media. El factor de conversión depende principalmente de la forma del canal y hay que determinarlo por relación, midiendo la velocidad media y la velocidad superficial. Esa comparación es de rigor para familiarizarse con este elemento. En el caso del

molinete, en cada vertical se mide la velocidad. El número de evaluaciones por vertical depende del valor del tirante. Si es igual o menor de 0.60 m se hace una sola medida a 0.60 m del tirante medido, a partir del fondo del canal. Si es mayor de 0.60 m, se hacen dos medidas a 0.20 y 0.80 m del tirante, a partir del fondo. La velocidad media en la vertical es la media aritmética de los dos valores hallados. El área comprendida entre dos verticales se supone afectada por la velocidad media (igual a la media aritmética de los valores medios en cada vertical). Se supone que la velocidad media en los márgenes del canal es nula. Para una buena precisión de la medida del caudal la sección transversal de canal se dividirá, por lo menos, en diez subsecciones.

Esta es la metodología que ha sido utilizada para:

- La calibración de estructuras aforadoras tipo Parshall**
- La evaluación de las pérdidas de conducción en canales en tierra**
- La medición de los caudales en los ríos**
- Calibrar secciones de aforo en causes naturales**

El tratamiento de los datos de campo para la determinación del caudal, se hace con el computador.

2.1.2 Revisión de los diseños para la construcción de la obra física de la segunda etapa y su funcionamiento para hacer un uso eficiente del recurso hídrico

Las estructuras son necesarias para la derivación, la conducción, la desviación, la partición y el control del caudal. Las estructuras pueden ser simples o muy elaboradas, en tierra, en mampostería de piedra o en concreto ciclópeo o armado. Lo que es importante en la estructura es que sea funcional (que cumpla a cabalidad la función para la cual se concibió); debe adaptarse a los usuarios (apropiada y de acuerdo a quienes se sirvan de ella, por lo tanto se emplearán los materiales convenientes) y de costo mínimo. En el caso de las estructuras hidráulicas, debe pensarse en el costo de mantenimiento que, siendo permanente, debe ser cubierto por los regantes, por lo que debe preverse que sea mínimo.

A pedido del Jefe del Departamento de Operación y Mantenimiento y del coordinador de la consultoría, se revisaron los planos de la segunda etapa, indicándose la necesidad de incluir:

- Las secciones de medición de caudales (las cusles deben ser simples, precisas, de bajo costo y funcionales). La producción del flujo crítico es un principio hidráulico que ayuda a satisfacer las condiciones indicadas.**

- Las estructuras de disipación de energía (caídas y rápidas) deben uniformizarse: tener dimensiones iguales, lo cual facilita su construcción y la elaboración del presupuesto.
- En la concepción de los diseños deben de intervenir los ingenieros de Operación y Mantenimiento para lograr la funcionalidad de la obra. Desde el punto de vista de Operación y Mantenimiento, es mejor tener una caída de mayor dimensión que dos o más de menor altura.
- La capacidad de las cuencas de disipación de energía debe aumentarse, la experiencia de la primera etapa así lo aconseja.
- Deben emplearse convenientemente los valores de pendiente y de rugosidad para manejar la velocidad, la cual no debe ser erosiva ni producir sedimentación ($0.6 \leq V \leq 0.8$, para los canales en tierra).
- La ubicación de las compuertas que alimenta a los canales de los usuarios deben de hacerse considerando la opinión de los ingenieros de Operación y Mantenimiento.
- En general, debe considerarse una toma por usuario y que éste construya, con ayuda del ingeniero de Operación y Mantenimiento, la infraestructura necesaria para regar su finca.
- En general, cada toma debe tener una sola compuerta, la cual facilita el control y la medición del caudal recibido por cada usuario.
- Los planos deben mostrar con claridad tanto los elementos hidráulicos como las dimensiones de la construcción y las especificaciones técnicas requeridas para ser concordante con el diseño.

2.1.3 Implantación de una red hidrométrica en el Distrito de Riego Arenal

Concordantes con la necesidad de cuantificar los caudales que conducen los canales y los que reciben los usuarios, de modo que se conozcan los volúmenes recibidos por las fincas por cada período: un mes o un ciclo de cultivo se ha trabajado con los ingenieros de Operación y Mantenimiento en la planificación de la red hidrométrica, que ha comprendido:

- Criterios para concebir una estación hidrométrica
- Principios hidráulicos a utilizar

2.1.3.1 Principios hidráulicos que se emplean para medir y mantener un registro de los caudales

- a. El uso de la energía de una corriente líquida permite obtener los caudales con precisión y de manera muy simple cuando se logra obtener el flujo crítico, el cual permite establecer una relación unívoca (uno a uno) entre el caudal y el tirante. La expresión se simplifica si la sección del canal es rectangular. Para esta situación se tiene la siguiente relación:

$$q = \left(\frac{g \gamma c^3 \cos \Theta}{\alpha} \right)^{0.5}$$

Si la pendiente es muy suave, $\cos \Theta = 1$ y si $\alpha = 1$ (porque el flujo es uniforme) se tiene:

$$q = (g \gamma c^3)^{0.5}$$

Luego al medir el tirante (en la escala instalada en la pared del canal, se puede obtener el caudal). Si el canal es angosto y la disminución del tirante por efecto del flujo gradualmente variado, creado por la presencia del desnivel que origina el flujo crítico, se puede afectar al caudal teórico con un coeficiente de 0.9. En este principio se apoya el uso del aforador Parshall y el aforador sin cuello.

Nuestro interés se ha centrado en el empleo de este principio, debido a que la mayoría de los canales presentan caídas. Creemos que los ingenieros del Departamento de Operación y Mantenimiento han asimilado la idea y se servirán de ella para expandir la red hidrométrica, según lo requiere el Distrito.

- b. El Theorema de Bernoulli aplicado al flujo a través de una compuerta se reduce a la expresión:

$$Q = C h l (z)^{0.5}$$

Donde:

Q = caudal en m³/s

h = abertura de la compuerta en m

l = ancho de la compuerta en m

z = carga de agua en el canal con respecto al umbral de la compuerta en m
C = coeficiente de corrección y que incluye a $2g$ donde
g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Las derivaciones de agua a las fincas se controlan por medio de compuertas, luego este instrumento puede emplearse para calcular el caudal. Es conveniente calibrar la relación entre z y Q para una abertura dada. Las observaciones realizadas en Bagatzí nos han dado un valor de C = 2.83.

c. Uso de la ecuación de flujo normal

A partir de las dimensiones constructivas de los canales, se calcula:

A = área mojada
P = perímetro mojado
R = radio hidráulico

Se mide la pendiente, se estima el coeficiente de rugosidad según el tipo de material y el acabado de las paredes y fondo del canal, se establece la relación unívoca entre el caudal (Q) y el tirante (y). Así se calibra la sección y se obtiene la curva de esta función.

Este procedimiento se recomienda cuando no se pueden aplicar los descritos anteriormente. Se ha recomendado para los canales secundarios CS-8, CS-6, CS-4 y CS-2.

d. Justificación de la medición de los caudales

El uso equitativo de los caudales disponibles, así como la contribución justa de cada usuario para hacer frente a las demandas de operación y mantenimiento, administración y otras exigencias del servicio de riego, requiere que los caudales sean medidos en todos los canales secundarios, terciarios y de parcela. Los métodos recomendados son simples. Una vez que se dominan los principios fundamentales, la aplicación más conveniente depende de la reflexión y para fortalecer la experiencia hay que evaluar las medidas puestas en práctica. Así se sabrá si se procedió correctamente. A nivel de finca, debe motivarse al usuario para que instale su estación de medición.

2.1.3.2 Criterios para concebir una estación hidrométrica

A la entrada de cada canal la medición del caudal permitirá saber cuál es el caudal que debe entregarse a cada finca, según la superficie que domina dicho canal, para lograr una repartición equitativa. Si el caudal disponible es muy pequeño, se calculará el volumen total, el cual se dividirá entre el área total por regar para obtener el volumen de agua que le corresponde a cada usuario, según la superficie que riega. Se establecen módulos de 10 l/s, 20 l/s, y se determina el tiempo que recibirá el agua cada usuario. Se implantará así, un sistema de turnado. Lo explicado justifica la existencia de una estación hidrométrica al origen del canal. En cualquier otro punto ha de justificarse la necesidad de colocar una estación de medida.

Para que los datos registrados sean dignos de confianza, debe de tenerse en cuenta que:

- El flujo sea uniforme por lo menos 5 m antes de la estación de medición.**
- Que el flujo aguas abajo sea libre y que no altere la corriente aguas arriba.**
- Que el flujo gradualmente variado que se cree aguas abajo no altere el verdadero valor del tirante (sea este crítico o normal).**

El flujo no debe ser supercrítico aguas arriba de la estación hidrométrica; en consecuencia, se evitan las fuertes pendientes.

Si para facilidad de la medición del caudal se ha de cambiar la sección del canal, se construirá una transición de tal modo que el ángulo de convergencia de las paredes del canal no sea mayor de 12.5°.

- Cuando se emplea una canaleta rectangular en flujo crítico, el fondo será plano y las paredes y el fondo del canal serán lisos.**
- La escala graduada que servirá para medir el tirante quedará empotrada en la pared, sin que haya diferencia de nivel entre la pared y la escala que altere la medida del tirante.**
- Se programará el mantenimiento anual preventivo de la estación hidrométrica para asegurar su funcionamiento permanente.**

2.1.3.3 Las estructuras de aforo

Por la facilidad en la operación, se prefiere construir estructuras de medición; es el caso del aforador tipo Parshall y el aforador sin cuello. Los dos se basan en la formación del flujo crítico, el segundo es más simple que el primero. Los dos requieren ser calibrados .

Tradicionalmente se ha usado el aforador tipo Parshall, el cual produce el flujo crítico mediante una reducción en el ancho del canal y un cambio de la pendiente del fondo en la garganta, el segundo provoca la formación del flujo crítico sólo con una modificación del ancho del canal, el fondo es plano. En el Distrito se han construido dos aforadores tipo Parshall que hemos calibrado y puesto en funcionamiento. Uno está en el canal Bagatzí y el otro en el canal San Luis. La consultoría ha construido aforadores sin cuello en las fincas.

2.1.4 Instalación y supervisión de estructuras de medición de caudales a nivel de fincas

Con el fin de evaluar los consumos de agua de riego y determinar la eficiencia de retención de agua en la finca para obtener los volúmenes de agua utilizados por cada cultivo y poder comparar los requerimientos relativos de la cédula o padrón de cultivos predominante en el Distrito, que sirva de base para calcular la tarifa complementaria, es necesario medir los caudales, para lo cual una buena herramienta es la instalación de una estación hidrométrica. Se seleccionó una finca en Bagatzí y tres en San Luis. En el primero, en la finca del señor Isidro Alpizar se construyó una canaleta de flujo crítico de 0.30 m de ancho. Se aprovechó la presencia de una caída. En el segundo se ha construido una canaleta de flujo crítico en cada una de las fincas de los señores Ovelio López y Erick Bastos. En Transcaña se construyeron 2 aforadores sin cuello. Para lograr la estructura se procedió de la manera siguiente:

- Se seleccionó el lugar para instalar la estructura
- Se hizo un levantamiento topográfico
- Se hicieron los cálculos en función de la selección de la estructura adecuada
- Se diseñó la estructura indicando las especificaciones técnicas
- Se construyó la estructura supervisando durante la ejecución el respeto al diseño y a las especificaciones técnicas
- Se controló el funcionamiento hidráulico
- Se hicieron las correcciones pertinentes
- Se puso en funcionamiento la estructura
- Se estableció la calibración de la relación caudal (Q) y el tirante (y)

Por la utilidad de este tipo de estructuras los propietarios de finca deben de financiar su construcción con la supervisión de los ingenieros del Departamento de Operación y Mantenimiento, lo que permitirá cuantificar la distribución del agua y hacer un uso racional de los recursos hídricos disponibles.

2.1.5 Diseño de estructuras hidrométricas en el canal CO-1 y CO-1-2

Con el propósito de dotar a los canales que regarán las tierras de la segunda etapa, de estructuras de medición, se realizaron los estudios y los cálculos y diseños respectivos para las estaciones hidrométricas de los canales CO-1 y CO-1-2. Para el primero se seleccionó una canaleta de flujo crítico, basándose en la caída prevista en la estación 0 + 320. Para el canal CO-1-2 se han estudiado, calculado y diseñado dos estaciones de medición, una basada en el flujo normal en la estación 0 + 390 y la otra es una canaleta de flujo crítico que se apoya en la caída proyectada en la estación 0 + 151.20. Para la estación hidrométrica que se apoya en el flujo normal se proponen dos alternativas: la instalación de una escala inclinada o la construcción de un pozo de tranquilización conectado con el canal mediante una tubería. Por igualdad de presiones, los niveles del agua tanto en el canal como en el pozo, son los mismos (las pérdidas de carga son despreciables), la evaluación de las dimensiones del canal construido permitirá calcular los elementos geométricos y del flujo con los cuales se establecerá la relación entre el caudal y el tirante.

Este trabajo me ha permitido comunicar con los ingenieros del Departamento de Diseño y Construcción; proponerles la idea del uso del flujo crítico y que la acepten para su aplicación en los otros canales de las etapas sucesivas de incorporación de tierras a la agricultura de regadío, en el Distrito de Riego Arenal, es decir para lograr su efecto multiplicador.

2.1.6 Participar en la creación de un archivo hidrometeorológico en el Distrito de Riego Arenal

En el Distrito de Riego Arenal, la precipitación total anual es de 1500 mm, equivalente a 15000 m³/Ha, volumen suficiente para obtener una cosecha de cualquier cultivo; sin embargo, la distribución en el tiempo es variable, en general se presentan dos épocas secas y dos períodos de lluvia. Por esta razón es conveniente disponer en el Distrito de los registros actualizados de los elementos meteorológicos, para conocer sus tendencias y determinar sus valores de ocurrir con un 80% de probabilidad. La actualización e interpretación de los registros tiene su utilidad en la elaboración del Plan de Cultivo y Riegos, y en el cálculo de los requerimientos de riego, así como en la planificación de la ejecución de las actividades de mantenimiento. Igualmente, las áreas de San Luis y Bagatzí son servidas por los ríos Cañas y Piedras, lo que

justifica la existencia de un archivo hidrometeorológico en el Distrito, bajo la responsabilidad del Departamento de Operación y Mantenimiento. La sección de hidrometría y de drenaje debe ocuparse de manejar esta información.

2.1.7 Proposición de los principios fundamentales para la implantación de un plan de cultivo y riegos en el Distrito de Riego Arenal

El plan de cultivo y riego es el instrumento que emplea la administración de un Distrito de Riego para armonizar las demandas con las disponibilidades de los recursos hídricos, a fin de que la planta reciba el agua en cantidad y en el momento oportuno para obtener los mejores rendimientos, con los más altos beneficios. Para aumentar tanto en volumen como en el tiempo las disponibilidades de agua, se emplean los reservorios, los cuales permiten regular el uso del agua, especialmente en el caso del Distrito de Riego Arenal, que basa su disponibilidad de agua en la operación de las centrales hidroeléctricas: Arenal, Corobicí y Sandillal. El desarrollo de la agricultura de regadío depende de la sincronización de los caudales empleados en la generación de energía y los requeridos para el riego. La optimización de los beneficios se logra en esta armonización. Por lo tanto, es imperioso para el Distrito conocer los caudales y los volúmenes promedio mensuales que pueden ser utilizados para cubrir las demandas agrícolas.

En el momento actual, las disponibilidades de agua exceden las demandas de riego de La Guaria, Paso Hondo y Ampliación Paso Hondo (incluyendo el sector margen derecha); no obstante, hay limitaciones en San Luis y en Bagatzí.

La exposición de los principios que se incluyen en la publicación respectiva tiene aplicación general y todo ingeniero de riego debe dominar. El cuadro No.1 presenta un resumen de los aspectos a considerar en la relación suelo-planta-clima-agua.

CUADRO No.1

ELEMENTOS DE LA RELACION SUELO-PLANTA-CLIMA Y AGUA QUE DEBEN CONSIDERARSE EN LA PLANIFICACION DE LA AGRICULTURA DE REGADIO

SUELO	LA PLANTA	EL CLIMA	EL AGUA
Curva de infiltración Velocidad de infiltrac. Textura Estructura Fertilidad Profundidad del suelo Estratific. del perfil Propiedades hídricas Curva de retención de humedad Capacidad de campo Coeficiente de marchitez Agua aprovechable Densidad aparente Necesidad de adecuación parcelaria Contenido y tipo de sales Profundidad del nivel freático Terrazas, bancales	Períod.vegetat. Fecha siembra Part.comercial Ciclo fenológico Período crítico Coefic.de uso consuntivo Necesidad de drenaje Profundidad de raíces Hábito de crecimiento respecto al agua Período riego Func. de produc Rendimientos Exigencias de fact. meteorol. en su ciclo fenológico Formas riego: surcos, melgas, corrugaciones.	Temp. media Temp. mínima Temp. máxima Horas de sol o brillo Solar Radiac. solar Humedad relativa Precipitación total anual Hábito de crecimiento respecto al agua. Período de riego. Función de producción. Rendimientos Exigencias de factores meteorol. en su ciclo fenológ. Formas riego: surcos, melgas corrugaciones.	Fuente Volumen total Caudal Disponibilidad Estacional Calidad

Los elementos que conducen a la elaboración del Plan de Cultivo y Riegos, son:

- El Calendario Agrícola.
- La disponibilidad de agua superficial (caudales y volumen).
- La disponibilidad de la lluvia efectiva (80% de probabilidad).

- Capacidad de conducción de cada canal.
- Eficiencia global para regar el cultivo.
- Patrón de cultivos: (Todos los cultivos permanentes y periódicos).
- La evapotranspiración potencial (Los coeficientes culturales y la evapotranspiración real).
- Las características hídricas de los suelos.

El plan de cultivos y riegos limita la superficie a sembrar, evitando pérdidas a los productores, determina los requerimientos de los insumos de la producción: semillas, fertilizantes, mano de obra, agroquímicos (plaguicidas, fungicidas, herbicidas), en suma es un elemento de previsión de la agricultura. Todos los países que practican la agricultura de regadío lo han adoptado por sus ventajas en la operación del sistema de riego donde el usuario del agua de riego juega un rol capital.

2.1.8 Formulación de la ficha de regantes

Mediante la ficha de regantes se pretende obtener los datos de campo directamente del conductor de la parcela sobre la marcha de la agricultura de regadío, cuyo análisis e interpretación permitirán planificar el apoyo que el Distrito puede ofrecer a los usuarios y también orientar la agricultura, según las políticas del sector. Este documento de trabajo debe ser actualizado permanentemente (cada ciclo). En la ficha se consignan los datos del propietario, las actividades agropecuarias que realiza, la superficie regable por gravedad, el equipo que posee, el crédito y la comercialización de los productos. El ingeniero responsable de cada área de riego debe de coleccionar los datos y luego someterlos a su procesamiento en el computador donde existe una base de datos.

2.1.9 Metodología para la evaluación de la eficiencia del uso del agua de riego en el Distrito

Uno de los objetivos de la primera etapa del Proyecto de Riego Arenal-Tempisque ha sido la creación de una cultura de riego, de familiarizar al productor de agricultura pluvial con el manejo del agua, artificialmente puesta a su disposición por el sistema de riego. En ese sentido se ha orientado la implantación de la tarifa por hectárea. Esta situación autoriza al usuario a demandar toda el agua que estime necesaria, independientemente de si las plantas lo requieren.

A la fecha, en la primera etapa se observan dos situaciones con respecto a la disponibilidad del recurso hídrico: San Luis y Bagatzí, que tienen limitaciones, y La Guaria, Paso Hondo, Ampliación Paso Hondo y Sector margen

derecha de San Luis, donde hay abundancia de agua. En esta última parte los consumos de agua de riego por hectárea son mayores que en la primera. Con el fin de valorar la intervención del productor en la economía del agua y en su mejor aprovechamiento, se ha introducido el término retención del agua en la parcela, la cual se refiere al porcentaje del caudal agua que queda en la finca con respecto al caudal que recibe la finca. Al interior de ésta hay consumos inevitables, tales como la evapotranspiración y la infiltración, esta última puede disminuirse, lo que aumenta el grado de utilización del agua de riego. Con la participación de los ingenieros del Departamento de Operación y Mantenimiento se han realizado mediciones y controles de los caudales de entrada y de salida, tanto por los drenes como lateralmente; así se ha evaluado el manejo del agua a nivel de la finca. Con las eficiencias de conducción y de distribución se tiene la eficiencia global de manejo del agua en un sector. Cuando se cambie la modalidad de la tarifa de superficie a volumétrica el productor tendrá mayor cuidado en el caudal que recibe, dándole un uso adecuado y también se preocupará de reducir los consumos por infiltración. En el Ingenio Taboga se ha estudiado el efecto del riego intermitente frente al riego permanente, para dotar al cultivo de arroz de la lámina de mantenimiento.

Es muy importante para las etapas sucesivas de incorporación de nuevas tierras a la agricultura de regadío que el usuario se interese a la economía del agua y que la valore como el insumo más importante de la producción agrícola, sin cuya utilización no puede esperarse una cosecha y que la maneje apropiadamente, favoreciendo que otras tierras se beneficien del riego.

2.1.10 Ensayos en parcelas experimentales para determinar el consumo real para obtener una cosecha en el cultivo de arroz

Se ha observado que en el Distrito de Riego Arenal el 97% de la superficie cultivada bajo riego es ocupada por el arroz, la caña azúcar y los pastos. El arroz, en 1991, significó el 68% de la superficie cultivada; sin embargo, no se ha cuantificado el volumen de agua que en cada ciclo consume, realmente, este cultivo, que permita según las disponibilidades, establecer un plan de cultivos y riegos. Existe la exigencia de establecer, para la zona, el cultivo patrón (aquel cultivo que consumiendo la mínima cantidad de agua tiene para el país la máxima rentabilidad) y también de poner en vigencia la cuota complementaria para que paguen más los cultivos que consumen más agua.

Por lo expuesto se ha emprendido en una primera instancia, la tarea de determinar el volumen requerido, para obtener una cosecha de arroz bajo condiciones normales de trabajo de un productor del Distrito. En este sentido se han seleccionado dos fincas, una en San Luis y otra en Taboga, para lograr este cometido. Debemos destacar que en el área del Distrito el arroz se cultiva en dos ciclos, en el I (época de estiaje) el período vegetativo del arroz es mayor

que en el II (época húmeda), por lo que es conveniente realizar los ensayos en los dos ciclos.

La diferencia en volumen entre el consumo teórico calculado a partir de la evapotranspiración potencial, de los coeficientes culturales y de la eficiencia afectada a cada cultivo y el consumo real, es muy importante. Los volúmenes en el último caso pueden duplicarse o triplicarse dependiendo de muchos factores, entre los que juegan un papel fundamental el tipo de suelo (los suelos arcillosos son apropiados para el arroz cuando la infiltración básica es menor que 1 cm/día) y el manejo del agua en la finca, en lo que hay que tener en cuenta la nivelación del terreno (si la superficie está nivelada la lámina de agua es más uniforme y menor es el volumen requerido). Además hay que tener en cuenta que caudales pequeños en el riego son ineficientes y muy lentos, por lo que debe usarse el módulo de riego apropiado, el cual debe ser determinado en el terreno. El arroz requiere para su desarrollo de una lámina de agua, cuya altura varía entre 0.03 m y 0.10 m, según el tamaño de la planta. La lámina se aplica ya sea intermitentemente o de forma permanente, haciendo circular el caudal; en el primer caso, el riego se aplica cuando se ha consumido la lámina. El volumen teórico de agua requerido para obtener una cosecha de arroz en el ciclo de verano se estima en 22000 m³ y en 9000 en invierno; no obstante, el consumo real es mucho mayor. Para obtener los valores reales se han escogido dos fincas, una en San Luis donde a nivel comercial el consumo real es de 34.113 m³, y otra en Taboga donde se han estudiado dos tratamientos, uno con riego intermitente y el otro con riego permanente. Los resultados obtenidos son:

13718 m³/Ha para el riego intermitente y 27498 m³/Ha para el riego continuo.

2.1.11 Participar en la creación de la Sociedad de Regantes

En un sistema de riego los beneficiarios deben proteger la infraestructura para que el agua continúe llegando permanentemente, en cantidad y oportunidad, cuando el recurso esté disponible. Los seres humanos cambiarán, pero la tierra debe seguir produciendo con la contribución del agua de riego. Por esta razón el sistema de riego debe formar parte del patrimonio de la comunidad y ésta debe velar por su funcionamiento permanente. Una manera conveniente de asegurar esta relación es la formación de la Sociedad de Regantes, que la Ley de Aguas contempla y que el Distrito de Riego Arenal debe favorecer por las múltiples ventajas que se obtienen en la operación y en el mantenimiento. Hemos participado en reuniones en San Luis, convocadas por el Distrito con este fin; sin embargo, el predominio de la individualidad de los productores, así como la heterogeneidad de los miembros, no han cristalizado su formación.

Iguales intentos se han hecho en Paso Hondo sin resultados positivos. No obstante, debe insistirse en su constitución. En el caso de Bagatzí donde hay mayor homogeneidad entre los propietarios, el recurso hídrico es limitado, teniendo que bombearse del río Piedras. Se ha logrado el establecimiento de la Sociedad de Regantes y sus responsabilidades van en aumento, lo que es concordante con los objetivos de su existencia. Para la transferencia de tecnología en riego es muy conveniente trabajar con la organización de los productores.

2.1.12 Elaboración de formularios para la colección de datos de campo

Durante el desarrollo de la consultoría en Extensionismo de Drenaje y Operación de Sistemas de Riego se han colectado datos de campo, los cuales deben ser procesados, analizados e interpretados para obtener conclusiones. Para facilitar al operador la toma de datos se ha desarrollado una serie de formularios, que permiten ordenar cronológicamente los datos y luego introducirlos en una base de datos para su presentación, así el Distrito dispone del formulario para la ficha de regantes y el Departamento de Operación y Mantenimiento cuenta con formularios para las lecturas de los niveles freáticos que se hacen cada 2 semanas. Para los ensayos sobre el consumo de agua para el cultivo de arroz, se tienen los formularios para el control de la lámina de agua, de la aplicación del riego y las medidas de los caudales de drenaje. Similarmente, para las lecturas de las cargas de agua en el trabajo que se realiza en Bagatzí se cuenta con tal herramienta. Se ha puesto mucho interés en compartir esta idea con los Ingenieros del Distrito por su operacionalidad con el personal de campo.

2.1.13 Proposición del uso de la tarifa volumétrica para el riego en agricultura y para piscicultura

Es muy conveniente que el productor de la agricultura de regadío considere al agua como un insumo de la producción y que la use racionalmente, al igual que los otros componentes (semillas, fertilizantes, etc.), por lo que a mayor consumo mayor debe ser su costo; bajo este principio y para que el agua de riego favorezca el incremento de mayor superficie, la tarifa volumétrica es el mecanismo apropiado. En esta forma, el usuario que recibe mayor volumen de agua debe hacer una mayor contribución para hacer frente a los gastos que demande el funcionamiento del sistema de riego.

El monto total percibido por concepto de la tarifa de riego en el Distrito de Riego Arenal debe servir para cubrir los costos de:

- 1) **La recuperación de la inversión para amortizar el monto que fue necesario para obtener los estudios, los diseños, la búsqueda de financiamiento, la construcción y la supervisión de la obra.**
- 2) **Los costos por los servicios de Operación y Mantenimiento, y Administración. Con esta orientación, la tarifa podría expresarse en la siguiente forma:**

$$T = C1 K1 Ali + C2 K2 V2i \text{-----}(1)$$

Donde:

T = Tarifa de riego o la contribución monetaria anual del usuario, en colones.

K1 = Monto de la Amortización de la inversión por hectárea, en colones.

Ali = Número de hectáreas equivalentes, del usuario i

$$Ali = Api + 1.5 Agi$$

Api = Superficie regada por el usuario i, inferior o igual a 30 hectáreas.

Agi = Superficie regada por el usuario i, superior a 30 hectáreas.

C1 = Coeficiente de compensación, el cual toma valores entre 0 y 1, tiene en cuenta la contribución del Estado en la amortización del préstamo, debido al efecto multiplicador de la economía creado por la agricultura de regadío, que le permite al Gobierno Central aumentar sus ingresos fiscales. Si C1 = 0, los usuarios son liberados de este pago y si C1 = 1, los usuarios pagan la totalidad del préstamo.

Entre estos valores extremos, C1 puede tomar valores intermedios según la política que se adopte en relación con el tipo de usuario, con el período de pago y la forma como se decida alcanzar el pleno pago de la cuota de recuperación de la Inversión (CRI). Ejemplo: Si se establece que los usuarios que poseen 30 o menos hectáreas contribuyan progresivamente al pago de la CRI y que al cabo de diez (10) años su aporte cubra el valor de la CRI en ese año, C1 tomará los siguientes valores:

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE C1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

Puede suponerse que, con los ingresos adicionales del Gobierno, éste cubra las diferencias y que su ayuda disminuya progresivamente, hasta reducirse a cero al cabo de 10 años.

$$k1 = \frac{Va}{AN}$$

Va = Valor actualizado de las obras (valor actual a amortizar del préstamo recibido) en colones. Este dato debe calcularse anualmente.

A = Area equivalente total a regar para la cual se ha construido la obra.

En lo referente al Distrito Arenal, debe de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) Utilizar el área equivalente total regable para la cual se ha dimensionado la obra; por ejemplo: la presa de derivación para 66000 ha, el canal de Sur para 15.000 ha, etc.
- 2) Tener en cuenta sólo el área equivalente que realmente se riega. En este caso los usuarios estarían pagando por obras sobredimensionadas. Así, por ejemplo: el canal del Sur, dimensionado para regar 15.000 ha, sólo riega actualmente 4245 ha; sin embargo, el sobrepago podría justificarse por el beneficio que los actuales regantes están recibiendo y que era nulo cuando no existía el sistema.

La contribución individual disminuiría a medida que se incorporen nuevas áreas a la agricultura de regadío.

$$A = Ap + 1.5 Ag$$

DONDE:

Ap = Suma de las áreas de las Unidades Agropecuarias regadas iguales o inferiores a 30 hectáreas.

Ag = Suma de las áreas de las unidades agropecuarias regadas, en exceso de 30 ha.

N = Período de amortización de V_a , en años. Es el número de años que faltan por amortizar V_a para cubrir la totalidad del préstamo.

K2 = Valor unitario volumétrico para pagar los costos de los servicios de operación, mantenimiento y administración, en colones.

V2 = Unidades de volumen de agua recibidas por el usuario, durante el año. Puede estimarse a partir del consumo del año precedente, en M3.

C2 = Coeficiente de progresión de la agricultura de regadío en el Distrito, su valor varía entre 0 y 1. Tiene en cuenta la contribución del Estado al establecimiento de la agricultura de regadío y ayuda al regante durante el período de transición, hasta que logre el nivel de máximo beneficio de la actividad agropecuaria de su parcela. Entre los valores extremos indicados, C2 puede tomar valores intermedios, según la política de desarrollo agropecuario que se establezca. Si por ejemplo el Gobierno considera un período de transición de diez años, con incrementos anuales linealmente distribuidos, C2 tendría los siguientes valores:

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

Puede admitirse que, debido a la política de promoción de la agricultura de regadío, el Gobierno cubrirá también progresivamente las diferencias, hasta que al final del período el usuario cubra la totalidad de los costos.

$$K_2 = \frac{C_t}{V_n}$$

Ct = Costo total anual de los servicios de operación, mantenimiento y administración. El Distrito debe estar dotado de una Unidad de programación del mantenimiento, de la elaboración de la cantidad de obra, y del presupuesto. En el mantenimiento deben incluirse las reparaciones y la inclusión de equipo y estructuras que faciliten la operación.

Vn = Número de unidades de agua derivadas para el riego, incluyendo la destinada a la Piscicultura.

$$Vn = \frac{Vt}{19.398}$$

Vt = Volumen total de agua derivada para el riego, incluyendo lo destinado para la Piscicultura.

Se estima que 19.398 M3 es el volumen que permite obtener, en el Distrito Arenal, una cosecha de caña de azúcar con el mayor beneficio para el agricultor y para el país.

Teniendo en cuenta que la agricultura de regadío, cumple una función social y que los costos del funcionamiento del sistema son permanentes, la contribución mínima del regante, por concepto de tarifa de riego, es aquella que considera el valor de la CRI (C1 K1 Ali) y la cuota de operación, mantenimiento y administración: COM (C2 K2 V2i) donde V2i supone un consumo de 19.398 por hectárea equivalente.

Elementos de base propuestos

- **Treinta (30) hectáreas es el límite que divide a los grandes de los pequeños consumidores. Se admite que esa es la superficie que permite obtener ingresos que otorguen bienestar a una familia que trabaja intensivamente la tierra en agricultura de regadío, sin subvenciones. En consecuencia, son grandes consumidores todos los productores que en el Distrito de Riego Arenal poseen más de 30 hectáreas, en cuyas fincas deben instalarse, prioritariamente, la estaciones hidrométricas.**
- **Diecinueve mil trescientos noventa y ocho m3 por hectárea, con una eficiencia de 65%, es el equivalente a un consumo neto de 12.608 M3 por hectárea, los que, usados apropiadamente y con el complemento de la lluvia, deben favorecer la obtención de una cosecha, con el máximo rendimiento, de la caña de azúcar.**
- **La superficie de un propietario en exceso de 30 hectáreas en razón de sus mayores ingresos, debe contribuir a cubrir, en una proporción de 1.5 veces, los costos de la inversión para la construcción de las obras.**

Sugerencias

Sería muy útil para el Distrito de Riego Arenal, agregar al monto calculado de T, dos componentes:

- 1) **Un porcentaje del valor calculado (10%) que se empleará como fondo de reserva que servirá para hacer frente a situaciones de emergencia o imprevistas, o, en su defecto, para introducir mejoras de bien común en el sistema.**
- 2) **Un porcentaje del valor calculado (10%) que se empleará para cubrir los costos de la asistencia técnica y de la generación y transferencia de tecnología.**

Los costos de los servicios de operación, mantenimiento y administración deben ser los mínimos que aseguren el óptimo funcionamiento del sistema de riego, lo cual exigé un mantenimiento preventivo.

Las especificaciones de la tarifa del agua para la explotación de la Piscicultura

La piscicultura, en el caso que nos ocupa, sólo consume un pequeño porcentaje del agua que recibe, porque aguas abajo el caudal se devuelve al canal CS-10-1; sin embargo, el caudal es vital para el éxito de la actividad, por esa razón parte de los beneficios del usuario deben servir para retribuir los costos de hacer disponible el agua para la piscicultura.

La evaporación anual de un tanque en la zona, en los últimos cuatro años ha sido:

1988	1989	1990	1991	1992	-
2222.6	2364.63	2365.61	2309.23	9261.63	2315.4

La infiltración básica puede estimarse en 10 mm/día o sea 3650 mm. anuales.

El consumo anual de agua por estos conceptos es de 5.965.4 mm., o sea un volumen anual de agua de 59654 m³/ha, lo que es equivalente a 3.075 unidades de consumo de agua. Aceptando que la caña de azúcar es el cultivo patrón con un consumo de 19.398 m³ por cosecha, eso significa que:

Una hectárea de piscicultura equivale a 3.075 hectáreas de agricultura de regadío.

Eso quiere decir que en el momento actual la granja piscícola debe contribuir con un monto que será 3.075 veces mayor que la tarifa de un usuario

de agricultura de regadío de Paso Hondo; en otros términos las 40 hectáreas de acuacultura son equivalentes a 123 hectáreas de agricultura de regadío. Para la asignación de áreas se tendrá que:

$A_p = 30$ ha. y $A_g = 93$ ha.

Si en algún momento se revisten las pozas, la infiltración se reducirá y puede alcanzar valores de 2 mm/día o sea 730 mm anuales y en tal caso el consumo anual será de 3045.4 mm o 30454 m³/ha, lo que equivale a 1.57 unidades de consumo de agua y las 40 hectáreas de acuacultura equivaldrán a 62.8 ha. de agricultura de regadío. Para la asignación de área se tendrá:

$A_p = 30$ ha. y $A_g = 32.8$

Es conveniente resaltar la necesidad de realizar pruebas de infiltración en las pozas donde se crían los peces, para tener los valores reales y lograr resultados de mayor precisión. También es conveniente que los usuarios de la piscicultura presenten sus costos de producción, a fin de conocer la implicación de la tarifa de agua en el costo total de la explotación piscícola.

Si en adelante se estableciesen usuarios del agua para fines diferentes de la agricultura de regadío, la medición del volumen consumido deberá tener en cuenta la posibilidad de reutilización del agua por el sistema de riego y para fijar la tarifa se deberán hacer los estudios pertinentes.

2.1.14 Proposición para determinar los grandes productores en el Distrito de Riego Arenal

Con el propósito de justificar la instalación de una estación hidrométrica en la finca para tener un registro de los volúmenes recibidos por el usuario anualmente y aplicarle la tarifa volumétrica, se hizo un estudio de distribución de la tenencia de la tierra en octubre de 1992.

Después de un análisis de la repartición de la tierra se optó por proponer 30 has. como el límite mínimo para considerar al agricultor como un gran productor, obteniéndose que 23 fincas en el Distrito de Riego Arenal poseían 3669.01 ha, o sea el 64.65% de la superficie total regada (cuadro No.2). Así se daría respuesta a la interrogante de SENARA para instalar las estaciones de medición de caudales y que el Distrito debe empeñarse en realizar.

CUADRO No.2
TENENCIA DE LA TIERRA EN EL DISTRITO DE RIEGO ARENAL
OCTUBRE 1992

SECTOR HIDRAU- LICO	NO. USUARIOS CON MENOS O IGUAL A 30 HA.	AREA	NO. USUA- RIOS CON MAS DE 30 HA.	AREA	TOTAL DEL SECTOR
Cañas 2	20	163.01	--	--	163.01
Cañas 4	34	360.75	--	--	360.75
Cañas 6	13	180.99	5	280.11	461.10
Cañas 8	4	64.10	--	--	64.10
Cañas 10	15	197.98	11	3121.46	3319.44
Cañas 12	44	371.31	7	267.44	638.75
Bagatzí	69	668.44	--	--	668.44
TOTAL	199	2006.58	23	3669.01	5675.59
% DEL AREA		35.35		64.65	

2.1.15 Participación en la elaboración de la cuota complementaria

La cuota complementaria (c.c.) es el excedente que debe pagar un productor que siembra y cosecha un cultivo que consume un volumen mayor que el cultivo patrón.

En el Distrito de Riego Arenal el 97% de la superficie cultivada la ocupan el arroz (con dos cosechas anuales), la caña de azúcar y los pastos; de ellos la caña de azúcar ha sido seleccionada como el cultivo patrón, cuyo volumen

requerido se estima en 19398 m³. El arroz, en el primer ciclo de noviembre a julio requiere 22567 m³ y en el segundo ciclo de agosto a diciembre, favorecido por los aportes de la lluvia, necesita 9603 m³. En ambos casos, al uso consuntivo se le ha afectado de una eficiencia de 50% y se han incluido 5000 m³ para la preparación del terreno y para la germinación. Los requerimientos reales para atender la forma particular de manejar el agua por el productor, no se ha tenido en cuenta en esta oportunidad. Para los pastos se estima un volumen de 21160 m³ anuales.

El factor de conversión será:

$$\begin{array}{r}
 \text{- Para arroz:} \quad \frac{22.567 + 9.603}{19.398} = \frac{32.170}{19.398} = 1.66 \\
 \\
 \text{- Para los pastos} \quad \frac{21.160}{19.398} = 1.09
 \end{array}$$

Según la declaración de intención de siembra del agricultor, la tarifa a pagar será:

$$(1.66 A_{\text{arroz}} + 1.09 A_{\text{pastos}} + A_{\text{caña}}) (\text{CRI} + \text{COM})$$

A_{Arroz} = Superficie sembrada de arroz

A_{pastos} = Superficie sembrada de pastos

$A_{\text{caña}}$ = Superficie sembrada de caña de azúcar

CRI = Cuota de Recuperación de la Inversión

COM = Cuota de Operación y Mantenimiento

$$\text{CC} = ((1.66 \text{ Arroz} + 1.09 \text{ pastos} + A_{\text{caña}} - (A_{\text{arroz}} + A_{\text{pastos}} + A_{\text{caña}})) * (\text{CRI} + \text{COM}))$$

El propósito de implementar la cuota complementaria es el de lograr una contribución equitativa, según el consumo del agua de riego. Quienes reciben mayor volumen de agua contribuirán con mayor cantidad de colones para hacer frente a los gastos ocasionados por la CRI y la COM.

2.1.16 Metodología para rehabilitar canales en tierra. El caso de los canales CS-10 y CS-10-1

En el tramo en que el canal de riego debe distribuir el agua ya sea a otros canales o a los usuarios, el flujo de la corriente líquida es alterado por la presencia de compuertas, que retienen el agua elevando el nivel y en tal caso, el movimiento deja de ser normal. La creación del flujo, gradualmente variado de tipo suave, favorece la deposición de sedimentos y la pendiente del fondo del canal se invierte. La variación de la velocidad aguas abajo de las compuertas, de contracciones de los pasos, erosiona las paredes; si a eso le agregamos el efecto de la lluvia y de los deslizamientos, se deduce que la sección transversal de un canal en tierra cambia frecuentemente y que su mantenimiento merece una atención particular. Teniendo en cuenta que el Distrito de Riego Arrenal debe hacer frente a este problema, se nos encomendó realizar los estudios pertinentes y hacer una proposición para tal fin.

Como resultado de nuestra labor se encontró, además de lo enunciado anteriormente, que a lo largo del canal las secciones transversales habían sido fuertemente erosionada y que la capacidad de conducción había crecido desmesuradamente. La observación de los diferentes tramos del canal nos condujo a establecer una sección estable, que serviría de referencia y que, para el tipo de suelo en que se han construido los canales en tierra (arcilloso) la sección compuesta: rectangular en la base y trapezoidal en la parte superior (talud 1:1) es la más apropiada. Dada la permanente acción de los agentes erosivos, es conveniente que la pared de la sección rectangular sea rígida, hecha de gabiones o de piedra colocada a mano. Entre el camino y el canal debe haber una separación y que el camino tenga su dren en el extremo opuesto al canal. Conociendo que una de las causas de la erosión por deslizamientos son las filtraciones del agua provenientes de las terrazas de arroz, es necesario construir drenes para captar el flujo. La rehabilitación permanente de los canales en tierra debe realizarse progresivamente por tramos.

2.1.17 La capacitación

La principal tarea de la consultoría ha sido la transferencia de tecnología en riego y drenaje, tanto al personal del Distrito como a los usuarios. La agricultura de regadío se está introduciendo. Se han logrado implantar dos cosechas de arroz; se aplica el riego complementario a la caña de azúcar; se están considerando cultivos hortícolas (sandía, melón, ajo, tomate, etc.); se incorporan nuevas tierras a la agricultura intensiva. Igualmente, los rendimientos inseguros de la agricultura de secano se incrementan y se aseguran con el riego.

En adelante, el objetivo está encaminado a hacer un uso racional del recurso hídrico para lograr el mayor rendimiento que maximice los beneficios. Para llegar a este punto se requiere realizar la investigación necesaria que permita generar la tecnología requerida.

La capacitación impartida a los capacitandos ha sido formal (en sala de curso, magistral) e informal o en servicio (trabajando en el campo con los usuarios y con los ingenieros del Distrito).

Durante el primer año de la Consultoría se preparó los cursos formales para los canaleros y para los ingenieros de Operación y Mantenimiento, sobre los principios de base de la hidráulica, aplicados a la hidrometría en sus diversas formas. La hidráulica de canales y tuberías y, también, las ayudas matemáticas que faciliten la comprensión de la hidráulica.

En lo que se refiere a la profundización de la cultura de riego, se coordinaron y se participó en un ciclo de exposiciones (cuadro No.3) relacionadas con la agricultura de regadío en el que asistieron los profesionales del Distrito, de la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, del Ministerio de Agricultura y Ganadería, del Instituto de Desarrollo Agrario y otros interesados. En el segundo año se programó un curso formal para los canaleros y otro para los ingenieros agrónomos del Departamento de Desarrollo del Distrito y la capacitación en servicio bajo la modalidad de aprender-haciendo y reflexionando en ello participaron hasta diciembre de 1992 los ingenieros agrónomos del Distrito y los ingenieros agrícolas del Departamento de Operación y Mantenimiento; con los primeros se trató el estudio del perfil del suelo, los levantamientos topográficos, la nivelación de tierras, la planificación del uso de la tierra, el riego por sifones, la infiltración. Con los segundos, la hidrometría, la concepción de una estación hidrométrica, el uso de los principios del flujo crítico y del flujo normal; la calibración de una estructura de aforo (aforador Parshall); la metodología para hacer los estudios de drenaje; los pozos de observación, manto freático, los pozos domésticos, la conductividad hidráulica, la conductividad eléctrica, las isohypsas, las isobatas, la calidad del agua del subsuelo como un indicador de la salinidad del suelo. La eficiencia como un medio de reducir el consumo de agua. Las pérdidas por conducción, por distribución, la retención del agua en la parcela. Las modalidades de aplicación del agua a la parcela. El riego en arroz, la inundación de las terrazas. La lámina de mantenimiento intermitente y permanente. El consumo de agua para satisfacer la evapotranspiración y la percolación. La tarifa y sus modalidades de aplicación por Ha. y por m³. El plan de cultivo y riego, un principio fundamental para la planificación de la agricultura de regadío.

CUADRO No.3

SEMINARIO DE CHARLAS DE CAPACITACION EN AGRICULTURA DE REGADIO

TITULO DE LA EXPOSICION	EXPOSITOR	FECHA	LUGAR	HORA
El Distrito de Riego Arenal	J.Chacón	22-08-91	SENARA	2pm.
El Cultivo del sorgo en C.R.	M.Castro	29-08-91	EEEJN	2pm.
El plan de trabajo de la consultoría en Investigación.	V. Valdés	05-09-91	SENARA	2pm.
Manejo de Estaciones Experim.	R.Mena	26-09-91	EEEJN	2pm.
Rendimientos en maíz bajo condiciones de riego rest.	J.Aguilar	03-10-91	EEEJN	2pm.
Alternativas de control químico de malezas en arroz bajo riego.	A.Sanabria	02-10-91	EEEJN	3pm.
Diseño de un sist. de drenaje	M.Blásquez	10-10-91	EEEJN	2pm.
Impacto del aspecto no estructural en un sistema de riego.	H.Pizarro	10-10-91	EEEJN	3pm.
Manejo de recursos hídricos en la cuenca.	H.Pizarro	17-10-91	UNED	9am.
El cultivo del algodón.	R.Acevedo	17-10-91	UNED	10am.
10 Presuntas para saber cuándo cuánto y cómo regar.	V.Valdés	24-10-91	UNED	9 am.
Erosión y transp.de sedimentos. La ecuación universal de pérdida de suelo.	R.Spesny	24-10-91	UNED	10am.
Cuatro densidades de siembra en caña de azúcar.	A.Murillo	31-10-91	UNED	10am.
Las cortinas rompevientos.	D.Plouvier	31-10-91	UNED	9 am.
Investigación participativa: Método IPRA-CIAT.	B.	07-11-91	PACI-	9 am.
Diseño de riego por melgas.	Ramakrishna		FICA	
	L.Calvo	07-11-91	PACI-	10am.
			FICA	

Con los usuarios se trabajó en las parcelas de experimentación sobre el consumo de agua en arroz y sobre el efecto de la modalidad de aplicación de la lámina de mantenimiento: continúa o intermitente. Durante la ejecución de la consultoría hubo mucho intercambio de conocimientos y una gran disposición a participar en la solución de los problemas que a diario presenta la operación y mantenimiento del sistema de riego, así como la asistencia técnica en riego y drenaje. Igualmente fuimos expositores sobre el planeamiento del riego en el Distrito de Riego Arenal en el Congreso sobre la Caña de Azúcar, organizado por ATACORI. Introducción al diseño de canales y a la medición de caudales

fue la charla que presentamos a los participantes del II Curso Nacional de Riego y Drenaje, organizado por la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez. Los aforadores basados en el flujo crítico (el aforador sin cuello), fue el tema programado ofrecido en conferencia para el Departamento de Operación y Mantenimiento del Distrito.

Simultáneamente, para profundizar la capacitación, se elaboraron documentos relacionados con la agricultura de regadío.

Participamos activamente en el plan trienal de capacitación a los beneficiarios de la segunda etapa, en la elaboración del perfil real para la formación de administradores de fincas agropecuarias bajo riego.

2.1.18 Metodología para los Estudios de las necesidades de Drenaje

Una parte importante de los términos de referencia de la consultoría está relacionada con los estudios de drenaje, con énfasis al drenaje subterráneo en el área de riego del Distrito de Riego Arenal. Los causantes de la necesidad de drenaje son la lluvia, las filtraciones de la cuencas hidrográficas y los excesos del riego, por las condiciones bajo las cuales se efectúa la agricultura de regadío en el Distrito, el riego es el principal contribuyente. Las actividades de drenaje deben servir como un medio de transferencia de tecnología y de capacitación del personal, para que, en forma permanente, continúe con los trabajos de drenaje, al igual que se realiza la labor del riego.

Dos medios se están utilizando para seguir la variación del manto freático, los pozos domésticos (de 6 a 10 m. de profundidad), que indican el manto profundo y los pozos de observación que han sido instalados por el grupo de drenaje, a través de los cuales conocemos las reacciones del manto freático superficial, al riego y a las lluvias. Se ha captado información de los pozos domésticos en San Luis, en Paso Hondo y en los subdistritos de Piedras y Cabuyo. La primera constatación es que en 1984, cuando se construyeron estos pozos en San Luis y Paso Hondo, el manto freático estaba por debajo de los 8 m. Actualmente, en algunos lugares el manto está cerca a la superficie y la calidad del agua es C3. En los Subdistritos Piedras y Cabuyo, donde todavía no se ha generalizado el riego, el manto freático está profundo, excepto donde se practica el bombeo para hacer agricultura de regadío. Tal es el caso de la Pacífica y de Mojica, donde hay lugares en que el manto freático está a menos de 2 m de profundidad. En Ampliación Paso Hondo, en las zonas cerca al mar, el manto freático está cerca a la superficie y el agua es de clase C-3.

Al 20 de julio de 1993 los pozos de observación instalados se distribuyen como sigue:

SECTOR	UBICADOS	PERFORADOS	C.H.	ENTUBADOS	NIVELADOS	LEIDOS
SAN LUIS	26	26	26	26	26	26
AMPLIACION PASO HONDO	54	54	54	54	54	54
EEEJN	9	9	9	9	9	9
PASO HONDO	44	44	44	44	44	44
CO 1	16	16	16	16	16	16
TOTAL	149	149	149	149	149	149

CH Conductividad Hidráulica

Los pozos de observación nos han servido para:

- 1) Conocer el perfil de suelo, la disposición, el espesor y la textura de las capas horizontales que constituyen el suelo en ese lugar, así como la profundidad del estrato impermeable.**
- 2) La posición y las fluctuaciones del manto freático.**
- 3) La capacidad de transmisión del agua del medio poroso y por medio de la determinación de la conductividad hidráulica.**
- 4) La calidad del agua subterránea.**

La tarea es laboriosa, requiriéndose de personal y de equipo. Para su instalación se procede de la siguiente manera:

- 1) Perforación de un hoyo de 2 pulgadas, obteniéndose las muestras de suelo y determinándose las capas constitutivas del perfil.**
- 2) Ampliación del diámetro del hoyo a 4 pulgadas.**
- 3) Determinación de la conductividad hidráulica.**
- 4) Relleno del fondo con grava fina y colocación del tubo de plástico ranurado.**
- 5) Relleno de la corona cilíndrica con grava fina.**

- 6) **Colocación del sello de arcilla de 30 cm. de espesor, dejando libre los 20 cm. por debajo de la superficie del suelo para el sello de concreto.**
- 7) **Colocación del sello de concreto en los 20 cm. más próximos a la superficie. En el sello de concreto se coloca un pin de 3 cm, de acero de ½ pulgada de diámetro, que se incrusta en el concreto y que servirá como punto de referencia, nivelándose con respecto al nivel del mar.**
- 8) **Colocación de la tapa, perforada, en el tubo provista de una cadena de unión.**
- 9) **Organización de las lecturas y cálculo de las isohypsas y de las isobatas para fechas determinadas. (Actualmente se hacen dos lecturas por mes).**

Para los pozos domésticos se realizan dos lecturas por mes y se calculan los valores para las isohypsas y para las isobatas.

2.2 ASESORAMIENTO A LA JEFATURA DEL DISTRITO Y A SENARA

Durante el desarrollo de la Consultoría en Extensionismo de Drenaje y Operación de Sistemas de Riego se presentó una permanente disponibilidad para atender, dentro del dominio de la competencia del consultor, las demandas de asesoramiento provenientes de la Jefatura del Distrito, de la Gerencia de SENARA, de los profesionales del Distrito y de los productores.

Se participó igualmente, en eventos ligados al desarrollo de la zona organizados por la Cámara de Turismo de Cañas CATUCA y por la Fundación de Desarrollo de Cañas (FUNDESCO).

Entre las actividades de asesoramiento a la Jefatura del Distrito podemos mencionar:

-La revisión de los planos de las obras propuestas para la segunda etapa, a fin de incluir las obras necesarias que permitan un buen funcionamiento de la operación del sistema de riego.

-Estudio de alternativas de solución de la captación del agua de riego en el Proyecto San Bernardo.

-Participación en la programación de las actividades de los Departamentos de Desarrollo y de Operación y Mantenimiento, para resolver algunos problemas específicos de los usuarios, relacionados con el manejo del agua.

-La realización de los estudios de la alternativa de solución al revestimiento del canal Casablanca construido para regar los terrenos de la finca del mismo nombre y cuyo trazo era paralelo a otra finca que, por diferencia en la fecha de cosecha, se suponía que era afectada por las filtraciones del flujo del agua en el canal y SENARA, para resolver el problema, se había comprometido a revestirlo. El estudio global del movimiento del agua indicaba que la causa del pasaje del agua era el riego no controlado, por lo que se propuso no utilizar el canal Casablanca y en su reemplazo construir un canal en otra toma, lo cual significó un importante ahorro para SENARA.

-La proposición de las estaciones hidrométricas para los canales CO.1 y CO1.2, cuyo estudio y diseño fue solicitado por la Jefatura del Distrito.

-Se ha participado en reuniones sobre la determinación de la capacidad de los canales secundarios que serán alimentados por el canal del Oeste. El productor, sin justificación demanda caudales de 3 l/s-Ha. para arroz, lo cual puede afectar rápidamente el manto freático.

-Se ha participado en reuniones sobre el impacto del riego en el medio ambiente y se han presentado propuestas para lograr un mejor aprovechamiento de las condiciones contractuales con MIRENEM y CICA (URC) para beneficio del área de riego.

-Similarmente hemos accedido a los pedidos de la Gerencia y Subgerencia de SENARA, para proponer con su respectiva justificación la determinación del grupo de grandes productores, de la tarifa volumétrica y de la tarifa para la piscicultura, así como la elaboración de la cuota complementaria.

-Igualmente, hemos brindado nuestro concurso participativo en la reuniones del Comité de Investigación, con el propósito de relacionar la transferencia de tecnología en riego y drenaje con la investigación en la agricultura de regadío, para realizar una acción coordinada.

-También nos ha sido grato poner nuestra competencia profesional al servicio de los profesionales y de los productores del Distrito.

2.3 ACTIVIDADES INTERCONSULTORIAS

En la ejecución de la Cooperación Técnica ofrecida por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) el dominio de trabajo se amplió, interrelacionado las áreas de Investigación, Extensionismo y Desarrollo Rural, brindando una consultoría coordinada para mayor beneficio de SENARA. En este sentido se cumplió una importante labor en la acción conjunta, revisando, apoyando y sometiendo proposiciones que conlleven a una mejor acción en provecho de los

productores. Así hemos intervenido en los cambios introducidos en la parcelación de la superficie agrícola de la segunda etapa, en los criterios de selección del Centro Poblado y en otros aspectos donde nuestra competencia profesional ha sido requerida. Un tiempo valioso ha sido dedicado a las actividades interconsultoras. Destaquemos algunas intervenciones.

-El establecimiento de una nueva línea de base del Proyecto de Riego Arenal-Tempisque (PRAT), realizada al iniciarse el trabajo de la cooperación técnica (denominada también, Evaluación de la Primera Etapa del PRAT). Integramos el grupo que analizó la situación y presentó alternativas de los aspectos tecnológicos en vigencia en el área, elaboramos el informe contenido en el documento.

-En la elaboración del Plan Trienal de Capacitación de los Beneficiarios de la Segunda Etapa del PRAT. Estuvimos presentes en la discusión de la metodología para elaborar el diagnóstico participativo para la capacitación. Se asistió a la ejecución de las encuestas y a las reuniones con los potenciales productores, con el fin de elaborar el perfil requerido (ideal y final). Se contribuyó a la formulación del perfil requerido para capacitar a los beneficiarios, con el fin de que adquieran la competencia de "administradores de fincas agropecuarias bajo riego". Se trabajó en los capítulos de Metodología y Presupuesto del Plan. Se formó parte del equipo encargado de la revisión y redacción del documento que contiene el Plan Trienal. Se trabajó con el grupo que definió las funciones, los alcances y la dimensión física del Centro de Capacitación. Igualmente se asistió a la evaluación de los logros y a la actualización del plan al cabo de un año de su ejecución.

-La proposición de la necesidad de contar con una actividad agropecuaria bajo riego diversificada. En este rubro participamos a dos niveles: el primero, ligado a la coordinación del grupo de Riego y Drenaje en el que, junto con los especialistas en esta rama provenientes del SENARA, San José, Distrito de Riego Arenal, Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Instituto Nacional de Aprendizaje e Instituto Meteorológico Nacional, señalamos la importante contribución del agua de riego para asegurar la obtención de las cosechas de todos los cultivos, que puedan climatológicamente adaptarse a la zona y que tengan mejores ventajas comparativas. Igualmente, se ha hecho saber los elementos capitales para lograr un uso racional de los recursos hídricos tendientes a optimizar los beneficios de la agricultura de regadío, sin afectar el potencial productivo de los suelos. El segundo se relaciona con la selección de cultivos dentro de la cual se trabajó para obtener los criterios necesarios para aplicar el método SCORI, el cual, según el grado de importancia de los criterios escogidos, prioriza los cultivos. Se obtuvieron los insumos que fueron utilizados en la elaboración del Plan de Investigación de Agricultura de Regadío para el PRAT.

-En la obtención del Planeamiento Estratégico para el Distrito de Riego Arenal. Asistimos a todas las reuniones tanto en Cañas como en Coronado (Sede del IICA) y contribuimos con nuestras ideas a la formulación del Plan.

-En la actualización del Plan Maestro del PRAT; y en la elaboración de los términos de referencia para los estudios de la tercera etapa. Estuvimos presentes en la reunión inaugural, en la semana de reconocimiento que el grupo de consultores realizó al dominio del Distrito de Riego Arenal y en las sesiones finales de presentación de los resultados, en lo que el conocimiento que poseemos sobre el desarrollo de la agricultura de regadío en el área permitió sugerir orientaciones y estrategias a tener en cuenta en futuras intervenciones en el dominio del PRAT.

2.4 CUMPLIMIENTO DE LOS TERMINOS DE REFERENCIA DE LA CONSULTORIA

2.4.1 Asesoramiento en los programas de extensión y desarrollo de la Agricultura de riego en el Distrito

- a. **Colaborará en la programación, ejecución y evaluación de las parcelas de demostración que el Distrito deba establecer para el logro de los objetivos**

Se programó, se ejecutó y se evaluó un ensayo en la finca Mojica, donde se estudio el efecto de la lámina de agua en la productividad del cultivo de arroz. Esta experiencia sirvió de parcela demostrativa tanto para los funcionarios de SENARA, como para los productores de la zona y para los asistentes a los diferentes eventos relacionados con la agricultura de regadío que se organizaron en la región, tales como "El cultivo de arroz bajo riego", organizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, y el Seminario Técnico-Agronómico Internacional, organizado por FERTICA. Esta experiencia también ha ayudado para racionalizar la aplicación del agua a la parcela mediante la construcción de una acequia regadora y del paso del agua de ésta a la parcela, mediante cajas de distribución. Este trabajo sirvió de medio de difusión de la tecnología del riego, conjugando los factores climáticos, el cultivo, el suelo y el riego. Se estudiaron 4 tratamientos con 3 repeticiones del comportamiento de la lámina de mantenimiento:

- 1) **Regar cuando se ha consumido el 100% de la lámina.**
- 2) **Regar todos los días reponiendo el consumo del día anterior (la lámina de referencia es de 10 cm).**
- 3) **Regar cuando se ha consumido el 25% de la lámina.**
- 4) **Regar cuando se ha consumido el 50% de la lámina.**

No se obtuvieron diferencias significativas en los rendimientos.

Se midió la evaporación y se controló la lámina de riego. El seguimiento de esta tarea nos permite concluir que en un terreno nivelado controlando las malezas durante la preparación y siguiendo un esquema de fertilización y de manejo del agua, una lámina de mantenimiento de 7.5 a 10 cm. intermitente, con reposición al consumo, da buenos rendimientos.

También en el Ingenio Taboga, durante el primer ciclo de 1993, se desarrolló una experiencia con dos tratamientos y cuatro repeticiones. En el primero se aplicaba el riego en forma intermitente cuando se consumía la lámina de mantenimiento y el segundo mantenía una lámina de agua permanente, aplicando el riego continuamente en la misma forma que se acostumbra hacerlo en la zona.

En San Luis, en una finca de 19 Ha, se evaluó el consumo de agua en el cultivo de arroz, en el primer ciclo de 1993; igualmente, se midió el caudal de drenaje para evaluar la eficiencia de retención del agua en la finca. Estas parcelas han permitido mostrar la importancia de la medición del agua a nivel de finca, así como el control que debe ejercerse sobre los caudales para reducir los consumos de agua en este cultivo. Se ha motivado a los productores sobre la necesidad de mejorar el manejo del agua.

- b. Colaborará con el Departamento de Desarrollo del Distrito en los programas de extensionismo y asistencia técnica de riego y drenaje que deban implantarse entre los usuarios, para lograr, en el menor tiempo, los incrementos de producción y productividad**

En los cultivos más importantes que se practican en el Distrito, el riego y el drenaje superficial han permitido un incremento muy importante en la productividad y en la producción. En el caso del área piloto Bagatzf, donde el arroz es el cultivo exclusivo, se está logrando, con la intervención del Departamento de Operación y Mantenimiento y de los usuarios, un control del agua de drenaje, evitándose los desperdicios en unas parcelas y escasez en otras. En San Luis, Paso Hondo y Ampliación Paso Hondo se hace hincapié en la nivelación de la tierra, en el correcto trazado de los canales de riego y de los drenes, para evitar el uso inapropiado del agua. Se han logrado avances significativos, pero aún falta mucho por hacer en este punto; la razón de esta situación es, por un lado, la abundancia de agua en el canal del Sur cuyo caudal es superior al que requiere la superficie actualmente cultivada y la otra es la falta de diversificación de cultivos que favorece el uso inadecuado del suelo; un ejemplo: plantación de arroz en suelos franco arenosos de alta velocidad de infiltración, lo que eleva las pérdidas de agua por percolación. Para corregir

estas anomalías se requiere una transferencia de tecnología del riego a nivel de la parcela, con la intervención de los productores.

Durante el período de ejecución de la consultoría se ha aprovechado toda ocasión de visita a fincas o de reunión con los usuarios, para predicar sobre la planificación física de la finca y la adecuación parcelaria; sin embargo, estos aspectos requieren de una inversión especial que, por su duración, no deben incluirse dentro de los créditos para los cultivos anuales.

- c. Colaborará con el Departamento de Desarrollo, estrechamente coordinado con los investigadores, en los programas de formulación de recetas de riego que incluyen métodos y sistemas de riego, láminas y frecuencias de los mismos

De acuerdo con el comportamiento del clima (precipitación y evaporación) los cultivos principales son arroz y caña de azúcar; el primero se riega por melgas y el segundo se riega por surcos. Se recomienda para el arroz y según el efecto del viento en la zona, concentrar la siembra en un período de 30 días a fin de evitar interferencias en la realización de las labores culturales que pueda afectar a las fincas vecinas. Para el arroz, el número de riegos depende de la modalidad de siembra con fanguero o en seco y de la velocidad de infiltración del suelo. Esta debe ser muy lenta para mantener anegado el sistema radicular del cultivo y reducir el consumo de agua.

El arroz se cultiva en dos ciclos: el primero de febrero a junio, y el segundo de agosto a noviembre. Para la preparación del terreno y para la germinación se requieren 5.000 m³/ha. Los usos consuntivos, con una eficiencia de 50% en m³/ha, se estiman en:

FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	AGOSTO	SETIEMB.	OCTUB.	NOVIEMB.
4508	5205	5265	1905	684	1494	678	204	2227

Esto conduce a un consumo de 22.567 m³/Ha y 9603 m³/Ha en el primer y segundo ciclo, respectivamente.

La recomendación del riego para el primer ciclo, será:

-Riego de preparación	2567 m ³ /Ha
-Riego de Germinación	1500 m ³ /Ha

-1er riego de auxilio	1500 m ³ /Ha
-2do riego de auxilio	1000 m ³ /Ha
-Riego de mantenimiento (100 días)	16.400

En el segundo ciclo, la presencia de la lluvia disminuye los volúmenes aplicados. Estos requerimientos se han calculado sobre la base de la lluvia efectiva con 80% de probabilidad de ocurrencia.

En el caso de la caña de azúcar, hay dos modalidades: caña de planta y caña de soca, la primera requiere la humedad necesaria para la preparación del terreno y la segunda hay que regarla para ayudar al rebrote; los intervalos de riego de mejores rendimientos son de 15 días. Es un cultivo que se riega por surcos de 100 m de largo y 1.50 m de separación entre surcos, o sea 150 m² por surco. La lámina de agua por aplicar durante el ciclo vegetativo es de 1.939 m. Esta lámina es equivalente a un volumen de 19.398 m³/Ha.

Las láminas de requerimiento de riego en m³/s para la zona, con 65% de eficiencia se estiman en:

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1803	2563	2462	2850	1346	729	1610	1263	621	348	1505	1798

Es conveniente hacer resaltar que, tanto la capa freática como la lluvia, juegan un rol importante en la aplicación del riego.

Los pastos se riegan por melgas inundadas, pero los productores no ponen mayor atención a la adecuación parcelaria, de tal manera que la tecnología de riego para el pasto es elemental. Cabe destacar, también, que los investigadores en pastos en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez han logrado resultados positivos con ensayos en pastos bajo riego.

- d. Colaborará con el Departamento de Desarrollo en la formulación y revisión periódica de los paquetes tecnológicos de los cultivos principales de la zona.

Los cultivos principales de la zona son el arroz, la caña de azúcar y los pastos; sobre los dos primeros la tecnología es dominada por un cierto número de productores. Se conocen muy bien las épocas más apropiadas para la siembra, la preparación del terreno, el tipo de maquinaria a emplear según el

tipo de suelo, la fertilización en cantidad, calidad y época, el manejo del riego y del drenaje, la variedad y el tratamiento a malas hierbas, plagas y enfermedades. La asistencia técnica en riego debe orientarse hacia la frecuencia óptima, según el comportamiento del clima y del suelo, al control del volumen de aplicación y al drenaje y al efecto del riego en el rendimiento, según la tecnología del cultivo. Existe otro grupo de productores que no dominan bien la tecnología o no hacen las inversiones necesarias y sus rendimientos son bajos. La asistencia técnica debe centrarse en estos productores.

- e. **Auxiliará a la oficina de Estadística del Distrito, en la formulación, análisis y evaluación de la estadística básica, tanto en lo que se refiere al área de riego como de desarrollo agropecuario.**

En este aspecto se ha trabajado con el ingeniero responsable de la estadística y se ha laborado en la simplificación de la ficha de regantes para la captación de los datos básicos de rendimientos, costos de producción y beneficios por hectárea y por cultivo, así como en la evaluación de la actividad agropecuaria en el Distrito. Igualmente, nos hemos interesado en la obtención y utilización de los datos meteorológicos como insumos importantes en la formulación del plan de cultivo y riegos.

2.4.2 Asesoramiento en los programas de drenaje al personal del Departamento de Desarrollo

- a. **Colaborará con el Departamento de Desarrollo del Distrito en el diseño y construcción de la red piezométrica que se construye en el mismo, con el objetivo de observar los niveles de los mantos freáticos y sus fluctuaciones**

Esta importante labor, que nos ha tomado un alto porcentaje del tiempo diario, se ha realizado desde octubre de 1992 con el personal del Departamento de Operación y Mantenimiento. La observación del manto freático se realiza por dos medios, el primero con los pozos domésticos que tienen más de 6 m de profundidad y que nos indican la posición del manto freático permanente y, el segundo, mediante los pozos de observación, construidos por el personal dedicado a esta actividad, con el cual se observa el manto freático superficial que ofrece una respuesta rápida a la acción del riego y de la lluvia.

En el área actualmente servida por el canal del Sur, se han seleccionado 30 pozos domésticos y 133 pozos de observación. En la zona que será servida por el canal del Oeste se han instalado 16 pozos de observación en el área que se regará con el CO-1. Se tienen 50 pozos domésticos en el área de la II Etapa, donde se ha observado el manto freático.

Esta tarea demanda mucho esfuerzo para la instalación de la red de pozos de observación y el monitoreo del manto freático y sus fluctuaciones de los planos de isohypsas y de las isobatas. La toma de datos y su procesamiento se hace dos veces al mes. Se ha elaborado una base de datos y una hoja electrónica para la presentación de los resultados. Los ingenieros del Departamento de Operación están bien capacitados para realizar los estudios de drenaje en el Distrito.

Debemos destacar que el drenaje es muy importante para ofrecer a las plantas el ambiente de aireación favorable para su crecimiento, a fin de lograr la óptima productividad.

- b. Colaborará con el personal del Departamento de Desarrollo en la formulación de los planos de isobatas e isohypsas, así como sus evoluciones**

Para el área de riego de San Luis se han elaborado los planos de isohypsas y de las isobatas para los meses de octubre de 1992, febrero, marzo y mayo de 1993. Las isohypsas son las curvas de igual potencial o carga hidráulica y las isobatas son las curvas de igual profundidad del manto freático con respecto al suelo. Se han tabulado para cada pozo las fluctuaciones del nivel freático con el tiempo.

2.4.3 Asesoramiento al personal del Departamento de Operación

- a. Colaborará con el personal de Operación en la formulación de los planes anuales de riego, su seguimiento y evaluación**

El arroz se siembra y cosecha en dos ciclos. El primero es en la época de sequía, de diciembre a mayo o junio, y depende, principalmente, del agua de riego. El segundo ciclo se extiende desde agosto a noviembre. El período vegetativo del primer ciclo es de 150 días y el del segundo de 120.

La caña de azúcar en el área del Distrito presenta un período vegetativo de 12 meses, los dos últimos meses requiere de buen drenaje para ayudar a la maduración. Se siembra de enero a abril. La renovación de la caña planta se hace cada 5 o más años. Los riegos son más frecuentes pero de menor volumen de agua durante el período seco y la lluvia ayuda en el distanciamiento de los riegos. Para profundizar en este aspecto se ha preparado un documento de apoyo. En junio de 1993 se organizó un taller sobre la operación del sistema de riego, en el que participaron tanto el personal actual del Departamento de Operación como los ex-miembros de este Departamento. Posteriormente, en julio de 1993, se realizó un seminario sobre el mismo tema, con la participación de dos expertos Mexicanos y un consultor Francés y representantes de los

productores y funcionarios públicos ligados al trabajo de la operación de un sistema de riego.

- b. **Colaborará con el personal de Operación en la determinación de las eficiencias de conducción, operación parcelaria y total**

La eficiencia del uso del agua ha merecido una atención particular, tanto en las áreas donde hay escasez de agua (Bagatzí) como en aquellos donde hay agua en exceso (Paso Hondo). Para evaluar las eficiencias de conducción se ha utilizado un molinete A. OTT y las medidas se han realizado en los canales en tierra. En el caso de Bagatzí, donde el suelo es arcilloso, las pérdidas son pequeñas. Las mediciones efectuadas nos indican eficiencias de 94% para la conducción, 91% para la distribución y 99% para la retención del agua en la parcela. Siendo el agua limitada y costosa, los usuarios ponen mucha atención para usar cuidadosamente el recurso hídrico. La pérdida de retención del agua en la finca, cuando por un mal manejo del agua ésta se escapa por los drenes o por los bordes, es alta en Paso Hondo debido principalmente a las modalidades de aplicación del agua a la parcela (riego por inundación en arroz y en caña), a la economía de mano de obra que hace el productor y al uso no apropiado del terreno, por fuerte pendiente y/o fuerte velocidad de infiltración. En el caso de San Luis el agua también era escasa cuando se alimentaba del río Cañas, pero con la conexión al canal del Sur, las disponibilidades aumentarán. La eficiencia de retención del agua en la parcela es baja por el mal uso de los recursos agua y suelo.

Para reforzar el trabajo realizado se ha preparado una publicación sobre la eficiencia de utilización del agua de riego en Bagatzí.

La selección de los tramos de las mediciones de campo, las interpretaciones de los resultados, la redacción de los informes y la preparación de la publicación mencionada se han hecho en forma conjunta con los ingenieros del Departamento de Operación y Mantenimiento, quienes han logrado un alto nivel de comprensión de la eficiencia en el uso del agua de riego.

- c. **Colaborará con el personal del Departamento de Operación y Mantenimiento en el diseño de las estaciones de aforo, calibración de estructura y diseño de puntos de control**

Esta ha sido otra importante tarea realizada con los ingenieros del Departamento de Operación y Mantenimiento, desde la concepción (teniendo en cuenta ciertos criterios hidráulicos, accesibilidad y facilidad de la medición) hasta la calibración, cuando ha sido necesario, o en la tabulación y elaboración, de la relación gráfica entre el tirante y el caudal. Para la operación adecuada del riego se requiere el establecimiento de una red hidrométrica para conocer

diariamente los caudales disponibles desde el canal principal hasta los canales secundarios y los canales parcelarios. Se ha mostrado la variedad de principios hidráulicos que pueden emplearse para diseñar una estación hidrométrica: el flujo crítico, el flujo normal, el principio de flujo a través de un orificio, el flujo en caída libre.

Siempre que sea posible, se prepararán las estaciones apoyadas en la creación del flujo crítico debido a que éste es independiente de la rugosidad del conducto y se basa en relaciones de energía, por lo que tiene mayor precisión. Los ingenieros del departamento dominan tanto los criterios de concepción como los hidráulicos, por lo que es de esperar que en un futuro próximo se haya completado la red en la primera etapa.

También hemos propuesto al departamento de Diseño y Construcción del Distrito, los diseños de estaciones hidrométricas para los canales CO-1 y CO-1-2; de esta manera, los canales que entrarán en funcionamiento; próximamente, en la segunda etapa dispondrán de sus estructuras de medición.

- d. Colaborará con el personal del Departamento de Operación en la elaboración de formatos para informes de operación y estadística de riego

Los datos estadísticos de los caudales que conducen los diferentes canales y los tiempos y caudales en que los diferentes usuarios emplean el agua para la producción agrícola, son muy valiosos para mejorar la operación y conocer la eficiencia de su utilización. Se han elaborado los formatos de operación de riego con el personal del Departamento de Operación para la medición tanto de los caudales de riego como de drenaje. Igualmente, se han preparado los formatos para los ensayos de consumo de agua de riego en arroz para las medidas del nivel freático. La disponibilidad de formatos para la obtención de datos de campo facilita y da confiabilidad.

2.4.4 Capacitación

- a. Impartirá al personal del SENARA, cursillos periódicos de capacitación y actualización en los temas relacionados con la agricultura de regadío

Durante el período de ejecución de la consultoría se han organizado varios eventos de capacitación, tanto de tipo magistral como en servicio, con el fin de crear un ambiente favorable a la agricultura de regadío. En ese sentido se han llevado a cabo las exposiciones de los jueves en las que participaron los ingenieros de los Departamentos de Desarrollo y Operación y Mantenimiento, de la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez y del Ministerio de

Agricultura y Ganadería. Esta actividad fue coordinada en un principio con el consultor en Investigación y supervisada por la Comisión de Investigación.

Para el Departamento de Desarrollo hemos realizado cursos cortos sobre los diferentes aspectos del riego, incluyendo la hidráulica agrícola.

Se ha realizado capacitación en servicio en el desarrollo de las diferentes actividades de la Consultoría mostrando los elementos que se emplean para la operación, la aplicación del agua a la parcela y su control en la producción agrícola.

Se han conducido dos cursos de formación para los operadores de la distribución del agua (canaleros).

Se llevó a cabo un curso de formación para los ingenieros del Departamento de Operación y Mantenimiento.

Se han preparado seis publicaciones:

- 1) Introducción al diseño hidráulico de canales y/a la medición de caudales.**
- 2) Principios hidráulicos del funcionamiento del aforador Parshall en el canal principal Bagatzí.**
- 3) " Utilización del agua de riego en las parcelas regadas por los canales CL-2 y CL-3 de Bagatzí".**
- 4) "Principios fundamentales para la planificación de la agricultura de regadío en el Distrito de Riego Arenal".**
- 5) "Perspectivas de la agricultura de regadío en el Distrito de Riego Arenal".**
- 6) "Metodología para rehabilitar canales en tierra, el caso de los canales CS-10 y CS-10-1.**

Debemos destacar que la capacitación ha sido la actividad de la consultoría que ha recibido mucha atención. También fui invitado a la estructuración y como ponente en el II Curso Nacional de Riego y Drenaje, organizado bajo el Convenio SENARA-MAG, en la EEEJN, y a presentar una exposición sobre el riego en el Congreso de ATACORI.

- b. Colaborará con el Departamento de Desarrollo en la formulación de los programas de capacitación al productor en lo relativo a la preparación de tierras y manejo de riego**

Se ha participado en la capacitación en servicio a los productores. La mayoría de estos ha comprendido el rol importante que juega el riego en la producción y productividad agrícola y que el mejor aprovechamiento del agua se logra con una buena adecuación parcelaria, incluyendo la planificación física de la finca, la nivelación, la ubicación de la toma, el trazo de los canales de riego y los drenes.

- c. Impartirá cursos de capacitación al personal del Departamento de Operación sobre distintos métodos de aforo de caudales en los canales y estructuras de distribución. Asimismo, adiestrará a dicho personal en el uso de los distintos tipos de molinetes**

Esta tarea se ha realizado a diferentes niveles con los operadores de distribución y con los ingenieros de los Departamentos de Operación y Mantenimiento. Se ha enfatizado sobre el principio básico de la medición de caudales, en concordancia con lo cual se han mostrado múltiples procedimientos de medición: uso de:

- 1) Flujo normal**
- 2) Flujo crítico**

Sobre esta actividad se ha trabajado bastante, aunque hay un dominio pleno de la materia; sin embargo, su empleo continuará como una labor permanente para la calibración de estructuras de medición (Parshall, compuertas, vertederos); para el control de la operación.

- d. Asesorará y auxiliará a la Gerencia del SENARA y a la Jefatura del Distrito Arenal en todos aquellos temas relacionados con su profesión que sea consultado.**

El consultor ha mantenido una permanente disposición a colaborar con la Gerencia del SENARA, con las Jefaturas tanto del Distrito como con los Departamentos de Operación y Mantenimiento y de Desarrollo y con todo el personal de la institución. Como parte de la cooperación a la Gerencia y a la Jefatura del Distrito se ha participado en:

- 1) En la evaluación de la primera etapa del PRAT, integrando el grupo de tecnología.**

- 2) **En la elaboración del Plan Trienal de Capacitación de los productores de la segunda etapa del PRAT.**
- 3) **En la modernización de la Agricultura y Turismo con Desarrollo ecológico.**
- 4) **En el II Curso Nacional de Riego y Drenaje.**
- 5) **En las reuniones del Comité de investigación, por invitación.**
- 6) **En el Planeamiento Estratégico del Distrito de Riego Arenal.**

También se ha colaborado en:

- La revisión de la tarifa de riego volumétrico: (Agricultura y Piscicultura) y en la elaboración de la cuota complementaria.

- La revisión del programa de Post-grado para la capacitación formal en riego de los ingenieros del Departamento de Desarrollo.

- La búsqueda de posibilidades de capacitación en el exterior de los ingenieros de los Departamentos de Operación y Mantenimiento y Desarrollo.

- La tarea de diversificación de cultivos coordinando el grupo de Riego y Drenaje e integrando el grupo de selección de cultivos.

- La ejecución de un programa coordinado de las consultorías de Investigación, Extensión y Desarrollo Rural para lograr un trabajo coherente, que multiplique los beneficios para SENARA.

- La capacitación de un funcionario del INA, especialista en riego y drenaje, que realizó su pasantía en el Distrito y en el asesoramiento de los trabajos de tesis de dos graduandos de la U.C.R.

Se ha coordinado:

El Taller sobre la operación en el sistema de Riego del Distrito y el Seminario Regional sobre la operación del Distrito de Riego Arenal.

III. RESUMEN DE LOS LOGROS DE LA CONSULTORIA

La ejecución durante 24 meses de la consultoría en Extensionismo en Drenaje y Operación de Sistemas de Riego, el cumplimiento pleno de los términos de referencia, así como nuestra participación en la obtención de respuestas a los problemas presentados por la Jefatura del Distrito y por SENARA, nos conduce a presentar los siguientes logros:

-El distrito de Riego Arenal, para su operación, dispone de:

- A. Un conjunto de estaciones hidrométricas para la medición de los caudales en las parcelas y en los canales secundarios de la primera etapa. La mayoría se basa en la formación del flujo crítico.**
- B. Los principios para elaborar, en forma real, el plan de cultivo y riegos que organice la agricultura de regadío.**
- C. La infraestructura de observación de las fluctuaciones del manto freático para predecir las necesidades de drenaje.**
- D. Los diseños de dos estaciones hidrométricas en los canales CO-1 y CO 1.2, en las cuales se medirán los caudales en el primer sector que recibirá el agua de riego en la segunda etapa.**
- E. Metodologías para:**
 - 1. Planificar la rehabilitación de sus canales en tierra.**
 - 2. Realizar los estudios de drenaje subterráneo.**
 - 3. Efectuar estudios de eficiencia de conducción, distribución, de retención del agua en la finca y global.**
 - 4. Medir los consumos de agua de los cultivos.**
 - 5. Calcular la tarifa volumétrica y la tarifa para la piscicultura.**
 - 6. Calcular la cuota complementaria como un componente de la tarifa de riego.**
 - 7. Determinar los límites entre grandes y pequeños productores.**
 - 8. Calibrar estructuras de medición de caudales.**

- F. Personal técnico que ha mejorado su competencia profesional para cumplir con sus funciones en el seno del Departamento de Operación y Mantenimiento.**
- G. Un formulario actualizado de ficha de regantes para conocer la evolución de la agricultura de regadío en el Distrito y planificar la generación y transferencia de tecnología para responder a las necesidades de los usuarios.**
- H. Sociedades de Regantes y usuarios motivados para contribuir a elevar el porcentaje de participación en la operación y el mantenimiento del sistema de riego.**
- I. Un conjunto de documentos relacionados con los aspectos presentados anteriormente y que permitirán una profundización del conocimiento para su correcta aplicación.**

IV. RECOMENDACIONES

Para darle seguimiento a la consultoría en extensionismo de drenaje y operación de sistemas de riego, el Distrito debe de:

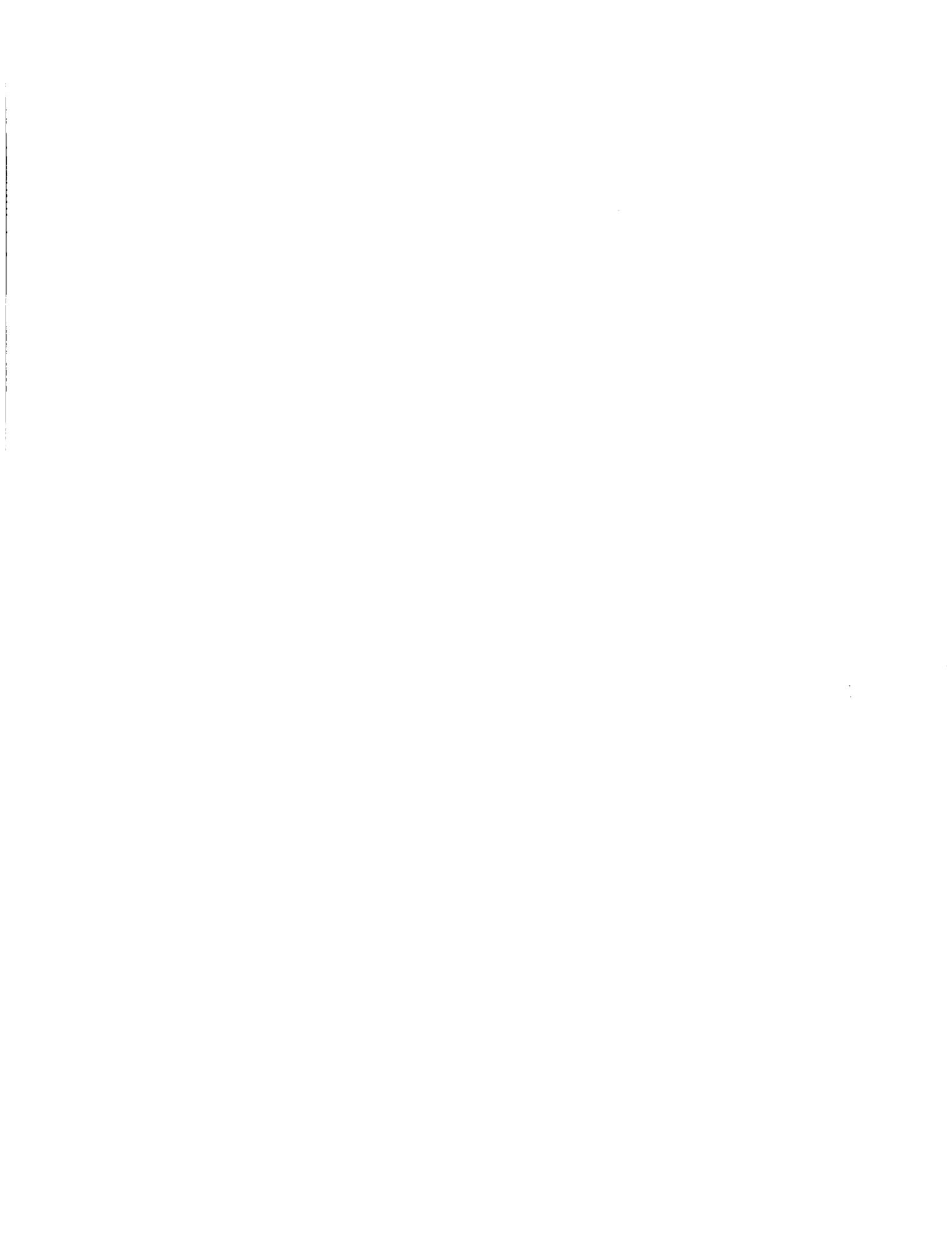
- A. Considerar como actividades permanentes e incluirlas en el programa anual operativo (PAO):**
 - 1. La completación de la red hidrométrica tanto a nivel de los canales principales y secundarios como parcelarios.**
 - 2. Dar cumplimiento al plan de cultivo y riegos, ejecutarlo y supervisar durante todo el año, hacer el análisis y mejorar, si hay lugar, de año en año.**
 - 3. La realización de ensayos para determinar con precisión las épocas de siembra, los volúmenes de riego y la frecuencia de éstos, así como las cantidades totales de agua requerida por cultivo.**
 - 4. Expandir la infraestructura de drenaje y continuar con las observaciones, el procesamiento de los datos y su interpretación periódica para prevenir las necesidades de drenaje subterráneo y superficial en el área de riego.**
 - 5. Colectar cada ciclo los datos de la ficha de regantes como fuente directa para el análisis de la tendencia de la agricultura de regadío.**

6. Realizar la transferencia de tecnología en riego directamente en la finca de los usuarios, aplicar el principio de aprender haciendo y reflexionando.
 7. Experimentar para encontrar modalidades de manejo conducentes a la mejora de la eficiencia del uso del agua de riego.
- B. Propiciar ensayos de riego y drenaje en los suelos arcillosos para aumentar su potencial de empleo que favorezca la diversificación de cultivos.
 - C. Facilitar la inclusión de cultivo de corto período vegetativo (especialmente hortalizas) entre los dos ciclos de arroz que aumente los beneficios del productor.
 - D. Incorporar al departamento de Operación y Mantenimiento, personal técnico intermedio para que supervise las tareas de campo de los trabajos propuestos, a fin de permitir a los ingenieros de Operación planificar las actividades del Departamento.
 - E. Tomar disposiciones para la aplicación de la tarifa volumétrica y la cuota complementaria para lograr una mayor eficiencia en el uso del agua de riego, lo que favorecerá el riego de mayor área y disminuirá la capacidad requerida de los drenes.
 - F. Persuadir a los grandes productores para que financien la instalación de estaciones hidrométricas, a fin de cuantificar los volúmenes de agua de riego recibido anualmente.
 - G. Planificar la capacitación de su personal, para lo cual programará el entrenamiento de los ingenieros y de su personal técnico intermedio para un mejor desempeño de las funciones.
 - H. La capacitación puede ser formal en una Universidad o en un centro superior especializado en riego y drenaje, no formal, consistente en visita de observación a Distritos de riego de países con una alta eficiencia en la operación de los sistemas de riego, tales como México, Colombia, Perú, España, etc.
- Apoyar la capacitación de los canaleros para que éstos ofrezcan un mejor servicio a los usuarios.

- I. **El drenaje integral que evacúe los excesos de agua provenientes tanto del riego abundante como de la lluvia de alta intensidad, debe ser al igual que la transferencia de tecnología del riego a nivel de finca, las prioridades en el futuro inmediato.**

V. ANEXOS

- 5.1 **Introducción al diseño hidráulico de canales y a la medición de caudales.**
- 5.2 **Principios hidráulicos del funcionamiento del aforador Parshall en el canal principal Bagatzf.**
- 5.3 **Eficiencia de la utilización del agua de riego en las parcelas regadas por los canales CL-2 y CL-3 en Bagatzf.**
- 5.4 **Principios fundamentales para la planificación de la agricultura de regadío en el Distrito de Riego Arenal.**
- 5.5 **Perspectivas de la agricultura de regadío en el Distrito de Riego Arenal.**
- 5.6 **Metodología para la rehabilitación de los canales CS-10 y CS-10-1 Distrito de Riego Arenal. Primera etapa.**
- 5.7 **Estudio de las necesidades de drenaje en el Distrito de Riego Arenal.**
- 5.8 **Proposición para el cálculo de la tarifa volumétrica del agua de riego.**
- 5.9 **Evaluación de la primera etapa del proyecto de Riego Arenal-Tempisque; aspectos tecnológicos.**
- 5.10 **Participación en el plan trienal de capacitación de los beneficiarios de la segunda etapa.**
- 5.11 **Proposición para el riego de la parcela del señor Juan Manuel Sánchez, que evita el revestimiento del canal Casablanca.**
- 5.12 **Diseño de secciones hidráulicas para los canales CO-1 y CO-1.2.**
- 5.13 **Estudio de las descargas máximas del Río San Gerónimo.**
- 5.14 **La cuota complementaria.**
- 5.15 **Documento sobre la operación del sistema de riego del Distrito Arenal.**



ANEXOS

CONVENIO IICA-SENARA

II ETAPA DEL PROYECTO DE RIEGO ARENAL TEMPISQUE

**INTRODUCCION AL DISEÑO HIDRAULICO
DE CANALES Y A LA MEDICION DE CAUDALES**

Por

H. Pizarro

Ley de Préstamo 208-IC-CR

**BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
FONDO DE INVERSION DE VENEZUELA**



INTRODUCCION AL DISEÑO HIDRAULICO DE CANALES

TABLA DE CONTENIDO

	Pagina
Diseño hidraulico de Canales.....	1
Clasificación de Flujo.....	1
Análisis de los Componentes.....	3
Diseño hidraulico de canales en flujo normal.....	5
Diseño de un canal a maxima eficiencia hidraulica.....	9
El flujo critico.....	10
Curva de energia especifica.....	11
Aplicación a un canal rectangular.....	13
Caso del canal triangular.....	13
Medición de caudales.....	14
Volumétrico.....	14
Gravimétrico.....	14
Uso del molinete.....	15
Uso del flotador.....	16
Aforadores basados en la producción del flujo critico.....	16
El aforador Parshall.....	17
Instalación de un aforador Parshall.....	18
El aforador sin cuello.....	24
Principio de la medición del caudal.....	25
Ecuaciones de diseño del aforador sin cuello.....	26
Instalación de un aforador sin cuello.....	28
Medición del caudal por medios quimicos.....	31
Bibliografia.....	32

Diseño Hidráulico de Canales

H. Pizarro C*

Se entiende por Diseño Hidráulico de Canales el empleo de los principios hidráulicos para determinar la coherencia entre los elementos del flujo y la geometría del conducto. En el flujo del agua en canales la superficie libre del agua está expuesta a la presión atmosférica.

Para el estudio del flujo del agua en canales, es muy general el uso de la fórmula de Manning-Strickler la cual se presenta de la siguiente forma:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (1)$$

Donde:

Q = caudal en [l³/t] puede ser l/s, m³/s, etc
 A = área mojada del flujo [l²] dm², m², etc
 n = coeficiente de rugosidad [l^{-1/3} t]
 R = radio hidráulico [l] dm, m, etc
 I = pendiente.

La expresión (1) puede agruparse así:

$$\frac{Q n}{I^{1/2}} = A R^{2/3}$$

El grupo de elementos de la izquierda del signo igual constituye el factor del flujo y el grupo de la derecha es el factor de forma.

Clasificación del flujo

a- Flujo uniforme: si a lo largo del canal no hay variación de los elementos. Ejemplo el flujo en un canal artificial, de sección constante y revestido.

b- Flujo no uniforme o espacialmente variado si a lo largo del canal hay variación de los elementos del flujo. Ejemplo un canal natural que presenta contracciones y ensanchamientos.

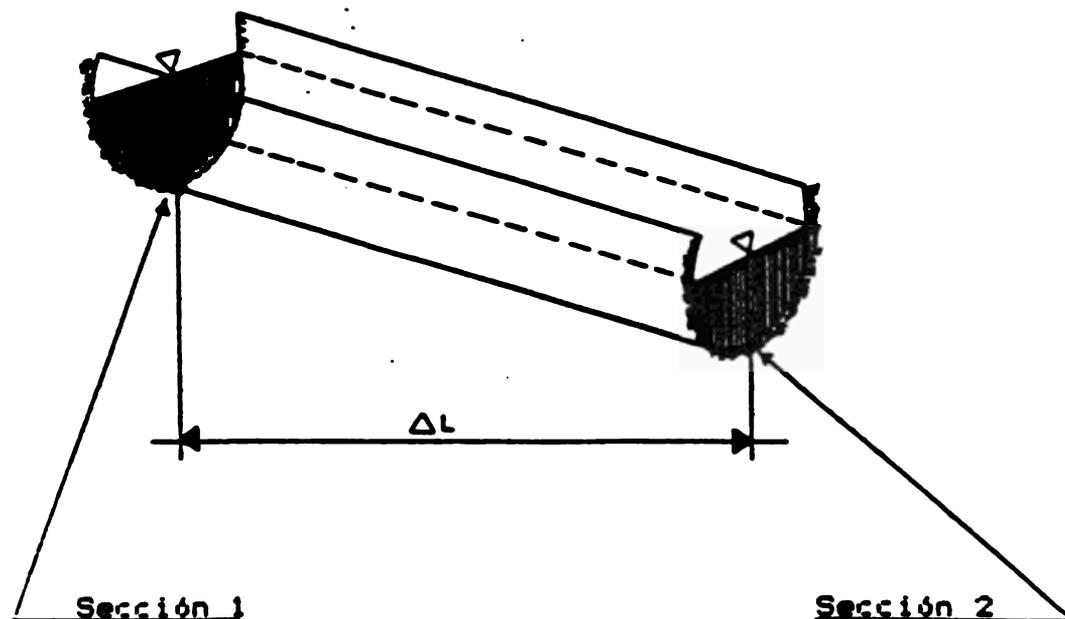


Fig 1 Tramo de un flujo en canales

	Sección 1	Sección 2
Caudal	Q_1	Q_2
Area mojada	A_1	A_2
Velocidad	V_1	V_2
Radio hidráulico	R_1	R_2

flujo uniforme $Q_1=Q_2; A_1=A_2; V_1=V_2; R_1=R_2$

flujo no uniforme $Q_1 \neq Q_2; A_1 \neq A_2; V_1 \neq V_2; R_1 \neq R_2$

c- Flujo permanente: Si en una sección del canal los elementos tanto del flujo como geométricos no cambian según el tiempo se tiene un flujo permanente.

d- Flujo no permanente: cuando los elementos hidráulicos del flujo como los geométricos son diferentes en tiempos diferentes el flujo es no permanente.

El flujo será permanente si:

		tiempo		
	Q	t_1	t_2	$t_1 \neq t_2$
Caudal	Q	Q_1	Q_2	$Q_1=Q_2$
Area mojada	A	A_1	A_2	$A_1=A_2$
Velocidad	V	V_1	V_2	$V_1=V_2$
Radio hidráulico	R	R_1	R_2	$R_1=R_2$

Se tiene flujo no permanente o temporalmente variado si se dan las situaciones siguientes:

		tiempo		
		t1	t2	T1+t2
Caudal	Q	Q1	Q2	Q1+Q2
Area mojada	A	A1	A2	A1+A2
Velocidad	V	V1	V2	V1+V2
Radio hidráulico	R	R1	R2	R1+R2

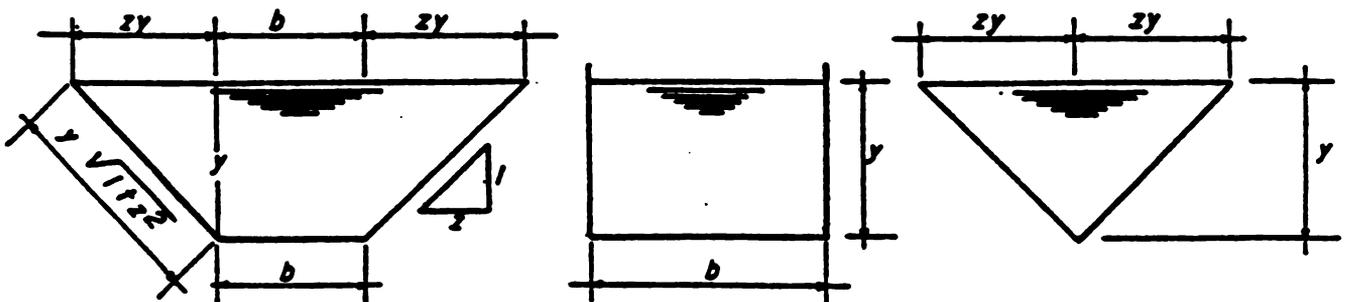
Cuando un flujo en un canal es uniforme y permanente se dice que el flujo es normal. Cuando se realiza el diseño hidráulico de canales se admite como válida la hipótesis de que el movimiento del agua es uniforme y permanente. Esta condición se presenta en canales artificiales de sección constante impermeables y alimentados por un caudal de entrada constante.

Análisis de los componentes de la expresión (1)

El radio hidráulico (R) se concibe como la contribución de la geometría del canal al movimiento del fluido. Se expresa como la relación entre el área mojada dividida por el perímetro mojado.

$$R = A/P$$

El área mojada (A) es el área de la sección transversal del flujo en canales. Depende de la sección geométrica del canal:



$$A = by + zy^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$A = by$$

$$P = b + 2y$$

$$A = zy^2$$

$$P = 2y\sqrt{1 + z^2}$$

El perímetro mojado es la línea del canal en contacto con el fluido [1]

La pendiente expresada como el desnivel existente entre dos puntos, dividido por la distancia que los separa.

$$I = \delta H / \delta L$$

Donde:

I = pendiente
 δH = diferencia de nivel entre dos puntos
 δL = longitud que separa los dos puntos

En el flujo del agua en canales se consideran tres tipos de pendiente:

1- Pendiente de fondo del canal [I]: Es la diferencia de altura entre dos puntos del fondo del canal dividida por la distancia que los separa.

2- Pendiente de la superficie libre del agua [i]: es la diferencia entre dos puntos de la superficie libre del agua dividida por la distancia que los separa.

3- Pendiente de la línea de energía [J]: es la diferencia de energía entre dos puntos de la línea de energía dividida por la distancia que los separa.

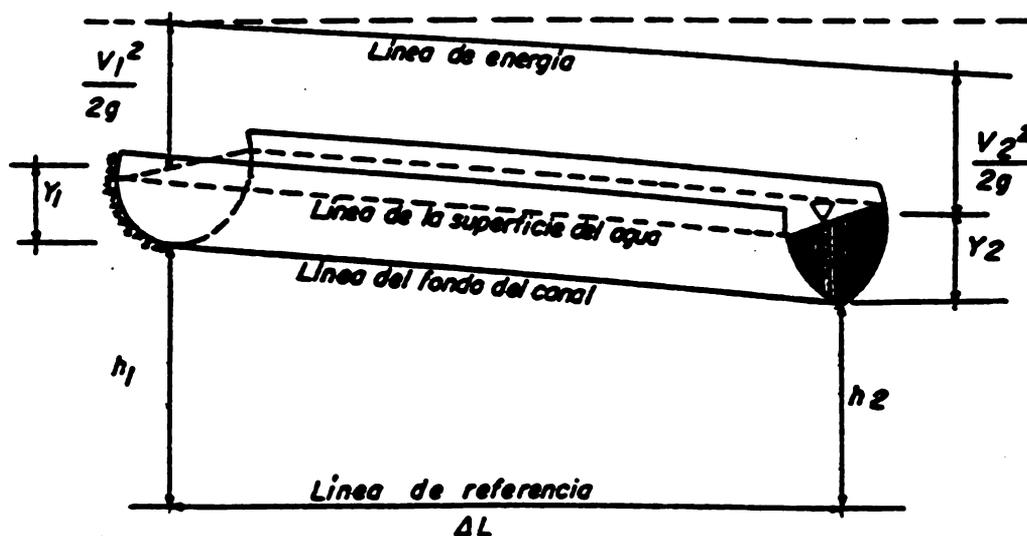


Fig.2 Componentes de energía

$$I = \frac{h_1 - h_2}{\delta l} = \frac{\delta h}{\delta l}$$

$$i = h_1 + y_1 - [h_2 + y_2] \quad ; \quad Z_1 = h_1 + Y_1 \quad ; \quad Z_2 = h_2 + y_2$$

$$i = \frac{Z_1 - Z_2}{\delta L} = \frac{\delta Z}{\delta L}$$

$$H_1 = h_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g}$$

$$H_2 = h_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$J = \frac{H_1 - H_2}{\delta L} = \frac{\delta H}{\delta L}$$

Para el diseño hidráulico de canales debe emplearse la pendiente de la línea de energía, sin embargo, en el flujo normal, las tres líneas indicadas en la fig 2 son paralelas y se tiene que:

$$I = i = J$$

lo que admite el empleo de la pendiente de fondo del canal [I].

Diseño hidráulico de canales en flujo normal

En general, de los elementos de la expresión [1] se conoce:

1- El caudal Q por conducir, se obtiene a partir de las necesidades brutas de los cultivos para el mes de máxima demanda.

2- La pendiente del fondo del canal que puede fijarse según la topografía del terreno o se escoge de acuerdo a la experiencia para tener un flujo suave o subcrítico que facilite el manejo del caudal a fin de lograr su buena distribución. Debe ser igual o menor a 0.001

3- El coeficiente de rugosidad [n] que depende del acabado de la superficie del canal. Si la superficie es muy lisa como en el caso de los tubos PVC $n=0.010$, si el canal será revestido de concreto bien pulido $n=0.014$, si el acabado no es bueno $n=0.015$ o $n=0.016$, si el canal es en arcilla con superficie bruta $n=0.022$, si el canal es en tierra franca $n=0.030$. Para los canales secundarios y terciarios al interior de la finca donde crecen malas hierbas puede usarse $n=0.030$.

4- Con esta información se conoce el factor de flujo:

$$\frac{Q n}{\sqrt{I}}$$

5- En el caso del factor geométrico o de forma, es preciso escoger la forma del canal, que es función de la naturaleza del material donde se construirá el canal y también si éste será en corte o en relleno. Cuando el canal se construye en relleno debe de ser de forma triangular o trapezoidal y debe de revestirse para protegerlo y darle estabilidad. Si el material es roca, la sección puede ser rectangular. En el caso de tierra el canal debe tener un talud [z] cuyo valor se escogerá según la indicación siguiente:

Material	Z
arcilla	0.5
franca	1.0
arena	1.5

6- Seleccionada la geometría es necesario determinar b e y que permitirán encontrar el área y el perímetro mojados con los que se obtiene el radio hidráulico.

7- Hay dos incógnitas b e y y una sola ecuación no lineal, lo que conlleva a múltiples soluciones.

8- El valor de la base [b] puede escogerse según el implemento que se emplee para la construcción; así si es con una pala manual [b] será un múltiplo del ancho de la herramienta 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 etc. Si es una pala mecánica igualmente [b] podrá ser múltiplo de 0.40 m (0.40, 0.80 etc).

9- Para cada valor de [b] se obtiene el correspondiente valor de [y]. Después de varios tanteos se escoge aquellos que satisfagan nuestras necesidades, en general, que se logre un canal funcional, económico y durable.

Ejemplo:

Diseñar un canal para conducir 0.300 m³/s, con una pendiente de 0.001, un coeficiente de rugosidad n=0.025. La sección transversal será trapezoidal con Z=1. La estructura será construida con una pala manual.

Solución:

De la expresión (1)

$$\frac{Q n}{\sqrt{I}} = \frac{[by + zy^2]^{5/3}}{[b + 2y\sqrt{1+z^2}]^{2/3}}$$

$$\frac{0.3 + 0.025}{\sqrt{0.001}} = \frac{0.3 + 0.025}{0.0316} = 0.237342$$

El factor de forma:

$$\frac{[by + y^2]^{5/3}}{[b + 2.8284y]^{2/3}}$$

Para $b=0.40$ m, hallemos el valor de y que satisface las condiciones impuestas para el diseño. Esto se logra por tanteos para lo cual escribiremos:

$$F(y^*) = 0.237342$$

$$F(y) = \frac{[0.4 + y^2]^{5/3}}{[0.4 + 2.8284y]^{2/3}}$$

$$y = 1; F(y) = 0.8021$$

$$F(1) > F(y^*)$$

luego y debe ser menor que 1

$$y = 0.5; F(0.5) = 0.1776$$

$$F(y) < F(y^*)$$

luego $0.5 < y < 1.0$

$$y = 0.6; F(0.6) = 0.2605$$

$$F(0.6) > F(y^*)$$

$$0.5 < y < 0.6 ; y=0.55 ; F(0.55) = 0.2167$$

$$0.55 < y < 0.6 ; y = 0.57 ; F(0.57) = 0.2337$$

podemos admitir que:

$$F(0.57) = F(y^*)$$

$$y^* = 0.57$$

Para esta solución tendremos:

Q (m ³ /s)	A (m ²)	P (m)	R (m)	V (m/s)	b (m)	y (m)	I	n
0.3	0.5529	2.0122	0.2748	0.5426	0.4	0.57	0.001	0.025

Para otro valor de b se encontrará otro conjunto de valores, excepto para Q, n, I que permanecen constantes. Cualquier cambio en alguno de los componentes del factor del flujo dará lugar a otro conjunto de valores que constituyen también una solución aceptable; pero se escogerá aquella que siendo funcional tenga el mínimo costo.

Admitamos que los valores encontrados nos dan la mejor solución, luego debemos proceder al diseño constructivo para lo cual hay que calcular el borde libre es decir hay que agregar al tirante la altura de agua de la lluvia de máxima intensidad en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años y también el efecto del oleaje causado por el viento. Si no existe las observaciones indicadas, se tendrá una estimación con las expresiones siguientes:

$$b_l = [\zeta y]^{0.5}$$

Donde:

b_l = borde libre

y = tirante

ζ = coeficiente, depende de la influencia de los factores climáticos. Para zonas semitropicales $\zeta = (0.2 - 0.5)$

Si el canal será revestido hay que calcular el volumen de excavación y el volumen de revestimiento. Para el mantenimiento se considerará un camino carrozable.

Otros criterios en el diseño hidráulico de canales

- a- de la velocidad máxima permisible
- b- de mínima infiltración
- c- de máxima eficiencia hidráulica

a- La velocidad máxima permisible: es aquella que no produce erosión de la sección del canal no revestido. Se estima en función de la experiencia del diseñador y depende del tipo de material que forma el canal.

Ejemplo : Para un canal construido sobre arena fina para transportar agua que contiene sólidos en suspensión
 $V_{mp} = 0.75$ m/s.

Si el material del canal es arcilla muy cohesiva
 $V_{mp} = 1.5$ m/s.

Si se adopta el valor máximo permisible de la velocidad en la ecuación (1)

$$V_n = V_{mp} = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \quad (2)$$

Se calcula R_h y según la forma del canal se determinan los elementos geométricos que sean coherentes con el factor de flujo.

b- El método de la infiltración mínima admite como hipótesis que la velocidad de infiltración es función del tirante y que el perímetro del canal debe ser tal que con el tirante que se tenga, la infiltración sea mínima.

c- Diseño de un canal de máxima eficiencia hidráulica.

De la expresión (1) se deduce que la capacidad de conducción del canal aumenta cuando aumenta el radio hidráulico o lo que es lo mismo cuando el perímetro mojado es mínimo dado un valor de área mojada. La sección transversal de un canal que para un área dada presenta el mínimo perímetro es el semicírculo, sin embargo tiene limitaciones constructivas y en su lugar se escoge la sección trapecial.

Relaciones de los elementos geométricos: [base del canal y tirante] para un canal de sección trapecial de máxima eficiencia hidráulica.

Para un canal de sección trapecial se tiene:

$$A = by + zy^2 \quad b = Ay^{-1} - zy$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} = Ay^{-1} - zy + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$P = Ay^{-1} + y [2\sqrt{1 + z^2} - z]$$

$$\frac{\delta P}{\delta y} = -Ay^{-2} + 2\sqrt{1 + z^2} - z$$

Para que P sea mínimo $\delta P/\delta y = 0$; luego

$$Ay^{-2} = 2\sqrt{1 + z^2} - z$$

$$A = y^2 [2\sqrt{1 + z^2} - z] = by + zy^2$$

$$b = 2y [\sqrt{1 + z^2} - z]$$

Para el valor de z escogido según la naturaleza del terreno se encuentra la relación que debe existir entre b e y así si

$$\begin{array}{ll} z = 1 & b = 0.8284y \\ z = 1.5 & b = 1.6y \end{array}$$

El flujo crítico: Desde el punto de vista hidráulico el flujo es crítico cuando el número de Froude es igual a 1

$$F = \frac{V}{\sqrt{gD}} = 1 \quad V = \sqrt{gD} \quad (3)$$

Donde:

F = número de Froude, adimensional
 V = velocidad media del flujo
 g = aceleración de la gravedad = 9.81 m/s
 D = una dimensión representativa del flujo

(ejemplo el tirante)

En una sección de un canal la energía con respecto a un plano de referencia se expresa así:

$$H = V_1^2/2g + y + h$$

cuando el plano de referencia pasa por el fondo del canal

$$h = 0 \quad \text{luego}$$

$$E = V^2/2g + y$$

Donde:

E = energía específica (kg-m)/kg

V = velocidad media del flujo

y = tirante del flujo en la sección dada

Para un valor dado de Q se tiene:

$$E = \frac{Q^2}{2A^2g} + Y = \frac{Q^2}{2g} A^{-2} + y \quad (\alpha)$$

si:

$$A = F(y)$$

$$E = F(y)$$

En la expresión (α) ; cuando y crece, A crece y el término

$$\frac{Q^2}{2A^2g} \quad \text{decrece}$$

Luego, para un valor de E hay dos posibilidades:

$$a - y \text{ grande; } \frac{Q^2}{2A^2g} \text{ pequeño (flujo subcrítico)}$$

b - y pequeño; $\frac{Q^2}{2 A^2 g}$ grande (flujo supercrítico)

Cuando E es mínimo; hay un sólo valor de y que satisface la ecuación de energía, a ese valor se le denomina tirante crítico. Cuando el flujo es crítico se establece una relación unívoca entre el caudal y el tirante y todos los elementos serán críticos; lo que se representa así:

Qc = caudal crítico
 Ac = área crítica
 Pc = perímetro mojado crítico
 Rhc = radio hidráulico crítico
 Yc = tirante crítico
 Ic = pendiente crítica
 Vc = velocidad crítica

Por oposición los elementos del flujo normal se representan en la siguiente forma:

Qn = caudal normal
 An = área mojada normal
 Pn = perímetro mojado normal
 Rhn = radio hidráulico normal
 Yn = tirante normal
 In = pendiente normal

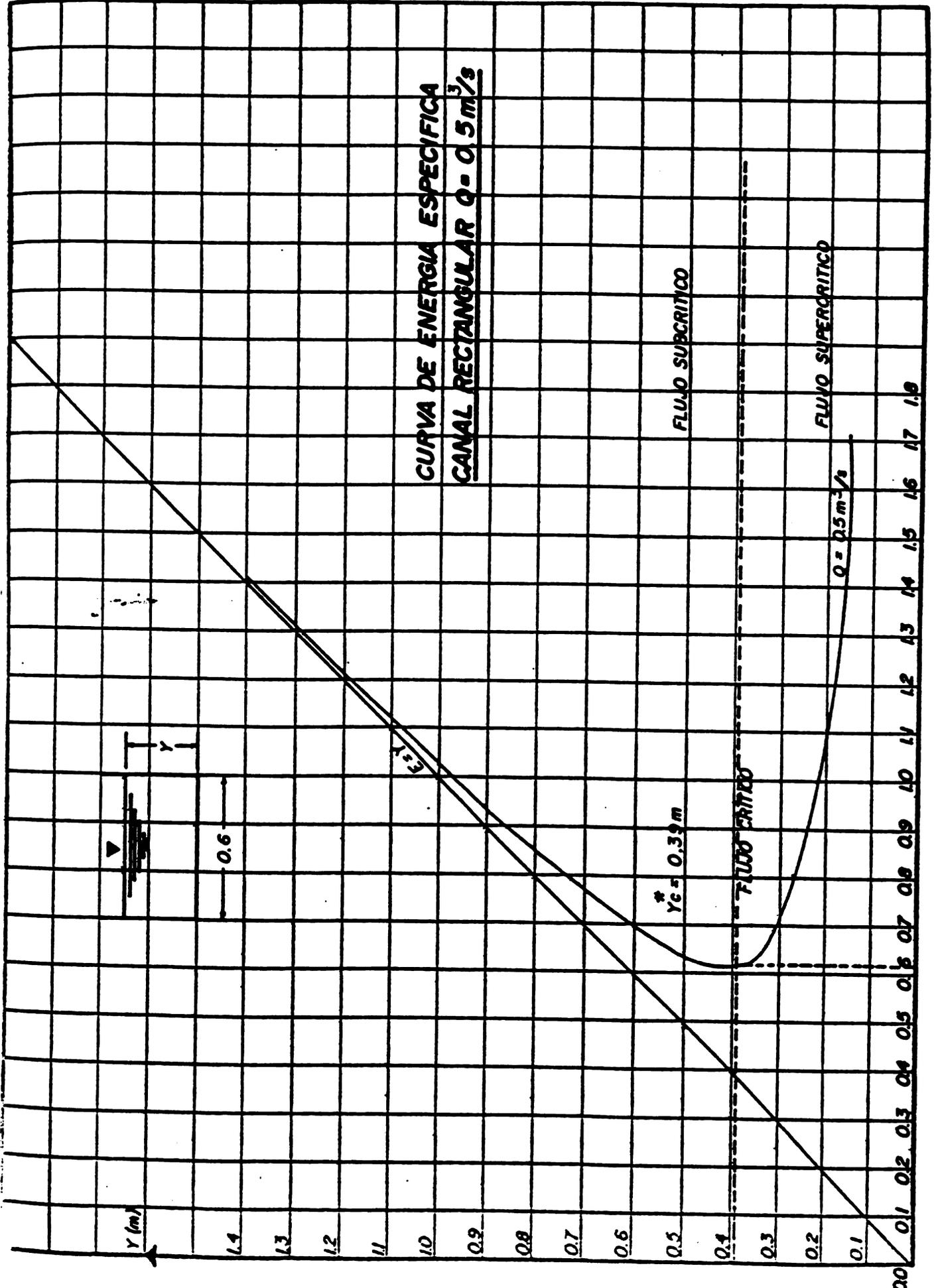
Curva de energía específica: Modificando la pendiente de la línea de energía, si el caudal permanece constante, cuando la velocidad aumenta, el tirante disminuye.

Ejemplo: Calcular y graficar la curva de energía específica para un canal rectangular de 0.60 m de base que conduce 0.5 m³/s.

$$E = \frac{[0.5]^2}{[19.62][0.6y]^2} + y = \frac{0.25}{[19.62][0.36]y^2} + y = \frac{0.035}{y^2} + y$$

Y	1.4	1.35	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7
E	1.42	1.37	1.32	1.22	1.13	1.035	0.94	0.85	0.77

Y	0.6	0.5	0.4	0.38	0.37	0.35	0.3	0.2	0.15
E	0.70	0.64	0.62	0.62	0.63	0.64	0.73	1.08	1.71



$E = (Kg \cdot m) / Kg$

Desarrollo de la expresión del flujo crítico.

$$E = \frac{Q^2}{2g} A^{-2} + y$$

Para hallar un mínimo $\delta E / \delta y = 0$

$$\frac{\delta E}{\delta y} = \frac{Q^2}{2g} [-2 A^{-3} \frac{\delta A}{\delta y}] + 1 = 0$$

$$\frac{Q^2}{gA^3} \frac{\delta A}{\delta y} = 1 \quad (\beta)$$

Aplicación de la expresión (β) a un canal rectangular

$$A = by \quad \delta A / \delta y = b$$

$$\frac{Q^2 b}{g[b^3 y^3]} = 1 \quad \frac{Q^2}{gb^2} = y^3$$

$\frac{Q}{b} = q =$ descarga específica por unidad de ancho del canal

$$q^2 / g = y^3$$

siendo y crítico se escribe

$$q^2 = g y c^3 \quad ; \quad q = \sqrt{g y c^3}$$

Luego en un canal rectangular conociendo el tirante crítico puede obtenerse el valor de q y luego hallar $Q = qb$. Esta ventaja que ofrece el flujo crítico se emplea para el establecimiento de secciones de medición de caudales y para el diseño de instrumentos de medición tales como el aforador Parshall, el aforador sin cuello y el WSC.

Caso del canal triangular

$$A = zy^2$$

$\delta A / \delta y = 2zy = b$; ancho de la superficie del agua en el canal

$$\frac{Q^2 2zy}{2gz^3 y^6} = 1$$

$$\frac{Q^2}{gz^2} = yc^5$$

Conociendo el talud o el ángulo en el centro del canal de sección triangular puede calcularse el caudal.

Ejemplo: Si $z=1$; ángulo en el centro = 90°

$$Q = g^{1/2} yc^{5/2}$$

si $z = 0.577$, ángulo en el centro = 60°

$$Q = 1.8 g^{1/2} yc^{5/2}$$

Los canales de sección triangular son el origen del empleo de los vertedores triangulares.

Medición de caudales:

Los caudales pueden medirse

- a- Por medios directos
 - a.1 volumétricos
 - a.2 gravimétricos
 - a.3 velocidad-área
 - a.3.1 molinete o correntómetro
 - a.3.2 flotador
 - a.4 instrumentos de medición basados en flujo crítico
 - a.4.1 aforador sin cuello
 - a.4.2 aforador Parshall

- b- Medios indirectos
 - b.1 químico

a.1 Medición del caudal por medios volumétricos

Se emplea un recipiente de volumen conocido (Vol), se mide el tiempo T que tarda en llenarse el recipiente, el caudal se determina por la relación

$$Q = \frac{Vol}{T}$$

a.2 Gravimétricos

Se halla el peso P_0 del recipiente vacío, se recibe el volumen de agua durante el tiempo (T) que luego se pesa hallándose el peso P_1 , basado en la hipótesis que 1 litro de agua pesa 1 kg se determina el caudal, luego:

$$\frac{(P_1 - P_0)}{T} \text{ / (kg/litro)} = \frac{\text{litros}}{T} = \text{caudal}$$

a.3.1 Uso del molinete o correntómetro para la medición del caudal.

Para medir la velocidad de la corriente líquida se emplea la relación empírica:

$$V = an + b$$

donde:

V = velocidad de la corriente
 n = número de revoluciones por segundo del molinete
 a, b = son dos constantes de relación. Se obtienen a partir de las observaciones.

Procedimiento:

- a- Determinar la longitud de la superficie libre del agua
- b- dividir la sección en 10 tramos de igual longitud
- c- medir las profundidades del agua en cada extremidad de los tramos de la sección
- d- seleccionar los puntos de medición de la velocidad según la velocidad del agua.
 Si $y < 0.60$ m se supone que la velocidad media, en esa vertical, se encuentra a 0.60 del tirante, medida a partir del fondo del canal.
 Si $y \geq 0.60$ se supone que la velocidad media, en esa vertical, es equivalente a la media aritmética de las velocidades medias a 0.80 y a 0.20 de la altura de agua de la vertical.
- e- para cada sección se determina la velocidad media la que multiplicada por el área nos da el caudal parcial.

$$q_i = a_i V_i$$

donde:

q_i = caudal parcial en la sección i
 a_i = área de la sección i
 V_i = velocidad media, en la sección i

La velocidad media en la vertical será:

$$V_{mj} = V_{0.60}$$

$$V_{mj} = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2}$$

donde:

V_{mj} = velocidad media en la vertical j

la velocidad media en la sección i será:

$$V_i = \frac{V_{mj} + V_{mj+1}}{2}$$

El caudal total que pasa por la sección del canal será:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n a_i V_i$$

a.3.2 Uso del flotador

Todo cuerpo de masa despreciable puede utilizarse para medir la velocidad de una corriente líquida.

Procedimiento:

Se selecciona un tramo de longitud l del canal

Se mide el tiempo (T_i) que un móvil (flotador) tarda en recorrer el espacio (l).

La velocidad puntual superficial será:

$$V_{si} = \frac{l}{T_i}$$

donde:

V_{si} = velocidad superficial en el punto i
 T_i = tiempo que tarda el flotador para recorrer la longitud l .

Si la superficie libre del agua es bastante ancha se pueden escoger tres puntos para hallar V_{si} y T_i .

En tal situación:

$$V_s = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 V_{si} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l}{T_i}$$

La velocidad media del flujo en el canal es menor que la velocidad media de la superficie y su relación se expresa por:

$$V_m = k V_s$$

donde:

k = depende de la forma y la rugosidad del canal
 k varía entre 0.7 a 0.9

a.4 Aforadores basados en la producción del flujo crítico

Las ventajas del flujo crítico de ser independiente de la rugosidad del canal y de presentar una relación unívoca entre el tirante y el caudal, especialmente la sección rectangular, se han utilizado para diseñar medidores de caudal. Para el flujo en canales pequeños y para la medición del agua de riego se emplean los aforadores:

Parshall
 Sin cuello
 WSC (Washington State College)

Para obtener resultados dignos de confianza con el empleo de estos aparatos es necesario calibrarlos; es decir encontrar los valores de los parámetros de ajuste de la relación entre el caudal real y el tirante.

El procedimiento consiste en medir con precisión los caudales y los tirantes (un mínimo de cuatro pares de valores con los cuales se determina la mejor relación entre las variables. La experiencia ha mostrado que para este tipo de medidores, la relación se expresa por:

$$Q = A l^x h^y \quad (e)$$

donde:

Q = caudal

l = longitud de la base del canal donde se produce el flujo crítico.

h = tirante crítico

A, x e y = son parámetros de relación, los cuales se determinan al introducir en la relación (e) los valores de Q, L y h. La calibración es un trabajo experimental. Los valores de los parámetros varían según las condiciones de funcionamiento de los aparatos por lo que la operación se repetirá cada cierto tiempo.

El aforador Parshall:

Es el más antiguo de este tipo de aparatos. Para producir el flujo crítico se emplean dos modificaciones.

- 1- la disminución del ancho de la sección del canal y
- 2- un cambio de la pendiente del fondo del canal.

Se dispone dos piezómetros para medir los tirantes uno aguas arriba del cambio de pendiente y el otro aguas abajo en la garganta. El primero se calcula a 2/3 de la longitud de la convergencia a partir del cambio de pendiente y el segundo en el extremo de la garganta. Las alturas de agua se denominan h_a y h_b , respectivamente, si $h_a > h_b$ el flujo se denomina libre y si $h_a < h_b$ el flujo se denomina sumergido. Las fórmulas desarrolladas se aplican al flujo libre.

El piso de la sección convergente es horizontal, la garganta tiene una pendiente directa, es decir que el nivel del fondo disminuye. La sección divergente tiene una pendiente adversa o sea que el nivel del piso aumenta. Estas variaciones permiten la producción del flujo crítico. Los piezómetros para la medición de los tirantes de agua h_a y h_b deben instalarse de modo que el cero de la escala corresponda con el nivel de la cresta del medidor.

Cuando el flujo es libre ($h_a > h_b$) la experiencia indica que el caudal es función del valor de h_a y del ancho de la cresta, como se ha indicado anteriormente.

$$Q = A h_a^x L^y \quad (f)$$

Para calibrar un aforador Parshall es necesario medir simultáneamente Q , h_a , L en varias situaciones (mínimo 3), con los cuales se determinan los valores de A , x e y .

La expresión (r), puede linealizarse utilizando la transformación logarítmica.

$$\text{Log } Q = \text{Log } A + x \text{Log } h_a + y \text{Log } L \quad (\mu)$$

Conociendo los valores de los parámetros A , x , Y , para un aforador Parshall de ancho de garganta conocido se establece una relación univoca entre h y Q . Cabe señalar que la relación es el resultado de observaciones por lo que debe admitirse una cierta tolerancia y también una actualización frecuente de los valores de los parámetros.

Instalación de un aforador Parshall

Para utilizar un aforador Parshall en flujo libre para la medición del caudal es conveniente colocar la elevación de la cresta con respecto al fondo del lecho del canal. Si la pendiente es fuerte y la caída es grande no hay dificultad de instalación, pero hay limitaciones cuando la pendiente es suave. Lo que hay que buscar es que el grado de sumergencia no impida que el flujo sea libre.

Para que el aforador Parshall no perturbe el flujo normal (uniforme y permanente), debe instalarse en un tramo recto.

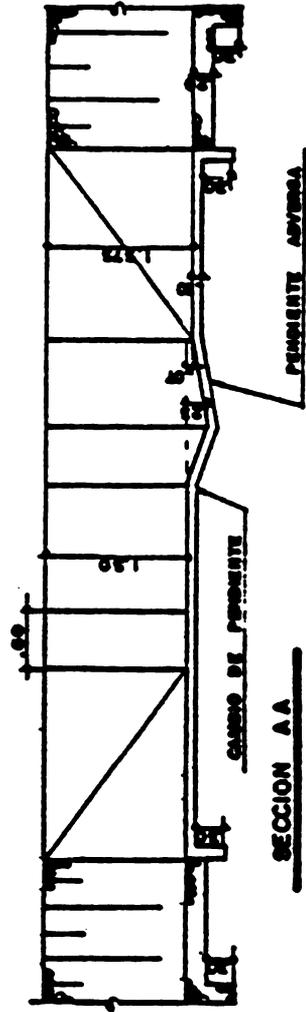
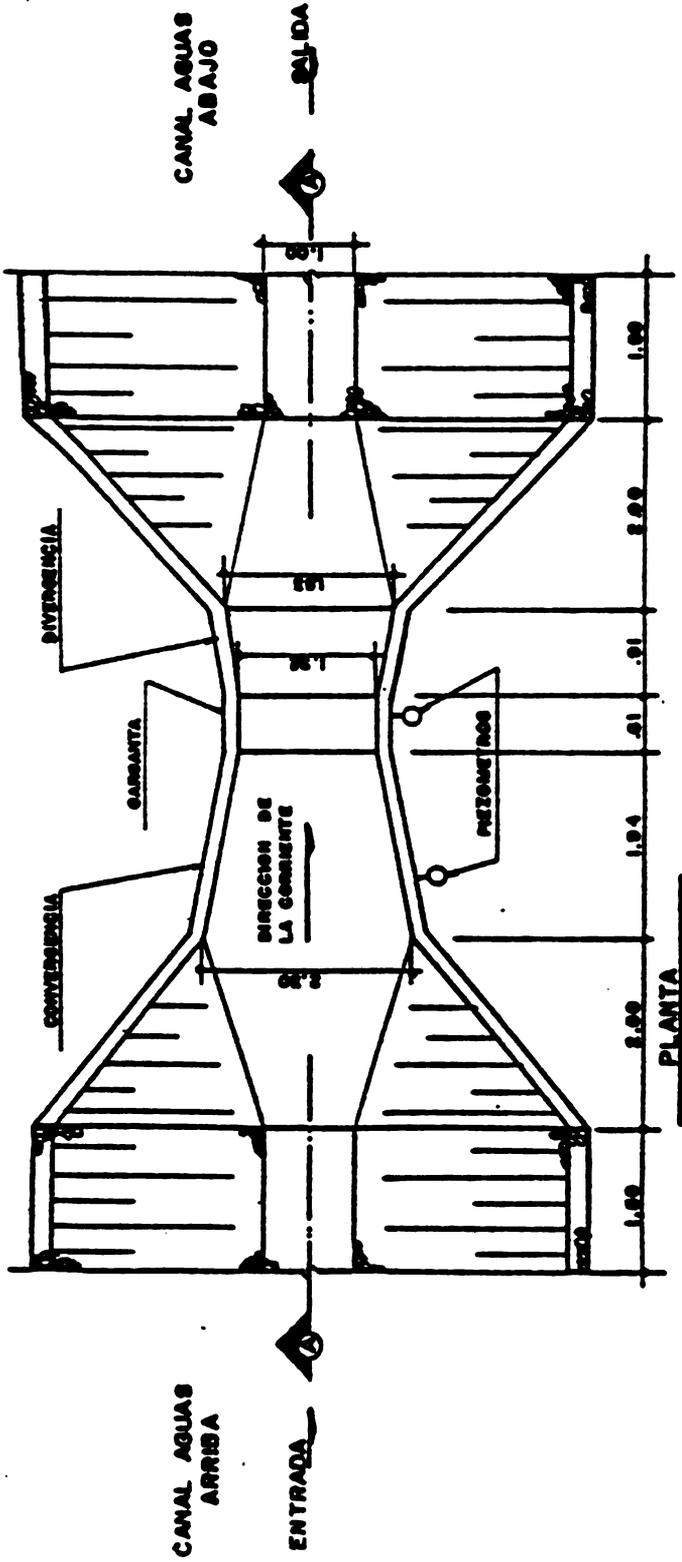
Los datos básicos para la instalación de un aforador Parshall son:

- La descarga máxima a medir (Q)
- Las características geométricas y el flujo normal del canal (b , I_n , n , z)
- El tirante normal (y_n)
- El grado de sumergencia (s) de acuerdo con el ancho de la garganta para tener el flujo libre.

Ancho de la garganta (m)	S
0.025 - 0.075	0.5
0.150 - 0.225	0.6
0.300 - 2.400	0.7
3.00 - 15.000	0.8

Determinar las condiciones de diseño para instalar un aforador Parshall.

El caudal máximo es de $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$. El canal es de sección rectangular de $b = 2 \text{ m}$, tiene una pendiente de 0.0005 y el coeficiente de rugosidad se estima en $n = 0.025$



**ESQUEMA DEL
AFORADOR PARSHAL
CONSTRUIDO EN EL CANAL BAGATZI**

Caudales, en flujo libre para el aforador Parshall,
según la carga y el ancho de la garganta

Carga H. (pies)	Descarga, Q, para anchuras de garganta, W, de-											
	3 pulg.	6 pulg.	9 pulg.	1 pie	1.5 pies	2 pies	3 pies	4 pies	5 pies	6 pies	7 pies	8 pies
	arg.-pie	arg.-pie	arg.-pie	arg.-pie	arg.-pie	arg.-pie	arg.-pie	arg.-pie	arg.-pie	arg.-pie	arg.-pie	arg.-pie
L 26	L 26	2 91	2 71	2 41	11 2	12 0	22 0	22 2	22 1	22 5	22 6	21 4
L 27	2 72	2 42	11 3	12 1	22 1	22 3	22 2	22 6	22 7	21 5
L 28	2 73	2 43	11 4	12 2	22 2	22 4	22 3	22 7	22 8	21 6
L 29	2 74	2 44	11 5	12 3	22 3	22 5	22 4	22 8	22 9	21 7
L 30	2 75	2 45	11 6	12 4	22 4	22 6	22 5	22 9	23 0	21 8
L 31	2 76	2 46	11 7	12 5	22 5	22 7	22 6	23 0	23 1	21 9
L 32	2 77	2 47	11 8	12 6	22 6	22 8	22 7	23 1	23 2	21 10
L 33	2 78	2 48	11 9	12 7	22 7	22 9	22 8	23 2	23 3	21 11
L 34	2 79	2 49	12 0	12 8	22 8	23 0	22 9	23 3	23 4	21 12
L 35	2 80	2 50	12 1	12 9	22 9	23 1	23 0	23 4	23 5	22 0
L 36	2 81	2 51	12 2	12 10	23 0	23 2	23 1	23 5	23 6	22 1
L 37	2 82	2 52	12 3	12 11	23 1	23 3	23 2	23 6	23 7	22 2
L 38	2 83	2 53	12 4	12 12	23 2	23 4	23 3	23 7	23 8	22 3
L 39	2 84	2 54	12 5	12 13	23 3	23 5	23 4	23 8	23 9	22 4
L 40	2 85	2 55	12 6	12 14	23 4	23 6	23 5	23 9	24 0	22 5
L 41	2 86	2 56	12 7	12 15	23 5	23 7	23 6	24 0	24 1	22 6
L 42	2 87	2 57	12 8	12 16	23 6	23 8	23 7	24 1	24 2	22 7
L 43	2 88	2 58	12 9	12 17	23 7	23 9	23 8	24 2	24 3	22 8
L 44	2 89	2 59	12 10	12 18	23 8	24 0	23 9	24 3	24 4	22 9
L 45	2 90	2 60	12 11	12 19	23 9	24 1	24 0	24 4	24 5	22 10
L 46	2 91	2 61	12 12	12 20	24 0	24 2	24 1	24 5	24 6	22 11
L 47	2 92	2 62	12 13	12 21	24 1	24 3	24 2	24 6	24 7	22 12
L 48	2 93	2 63	12 14	12 22	24 2	24 4	24 3	24 7	24 8	23 0
L 49	2 94	2 64	12 15	12 23	24 3	24 5	24 4	24 8	24 9	23 1
L 50	2 95	2 65	12 16	12 24	24 4	24 6	24 5	24 9	25 0	23 2
L 51	2 96	2 66	12 17	12 25	24 5	24 7	24 6	25 0	25 1	23 3
L 52	2 97	2 67	12 18	12 26	24 6	24 8	24 7	25 1	25 2	23 4
L 53	2 98	2 68	12 19	12 27	24 7	24 9	24 8	25 2	25 3	23 5
L 54	2 99	2 69	12 20	12 28	24 8	25 0	24 9	25 3	25 4	23 6
L 55	3 00	2 70	12 21	12 29	24 9	25 1	25 0	25 4	25 5	23 7
L 56	3 01	2 71	12 22	12 30	25 0	25 2	25 1	25 5	25 6	23 8
L 57	3 02	2 72	12 23	12 31	25 1	25 3	25 2	25 6	25 7	23 9
L 58	3 03	2 73	12 24	12 32	25 2	25 4	25 3	25 7	25 8	24 0
L 59	3 04	2 74	12 25	12 33	25 3	25 5	25 4	25 8	25 9	24 1
L 60	3 05	2 75	12 26	12 34	25 4	25 6	25 5	25 9	26 0	24 2
L 61	3 06	2 76	12 27	12 35	25 5	25 7	25 6	26 0	26 1	24 3
L 62	3 07	2 77	12 28	12 36	25 6	25 8	25 7	26 1	26 2	24 4
L 63	3 08	2 78	12 29	12 37	25 7	25 9	25 8	26 2	26 3	24 5
L 64	3 09	2 79	12 30	12 38	25 8	26 0	25 9	26 3	26 4	24 6
L 65	3 10	2 80	12 31	12 39	25 9	26 1	26 0	26 4	26 5	24 7
L 66	3 11	2 81	12 32	12 40	26 0	26 2	26 1	26 5	26 6	24 8
L 67	3 12	2 82	12 33	12 41	26 1	26 3	26 2	26 6	26 7	24 9
L 68	3 13	2 83	12 34	12 42	26 2	26 4	26 3	26 7	26 8	25 0
L 69	3 14	2 84	12 35	12 43	26 3	26 5	26 4	26 8	26 9	25 1
L 70	3 15	2 85	12 36	12 44	26 4	26 6	26 5	26 9	27 0	25 2
L 71	3 16	2 86	12 37	12 45	26 5	26 7	26 6	27 0	27 1	25 3
L 72	3 17	2 87	12 38	12 46	26 6	26 8	26 7	27 1	27 2	25 4
L 73	3 18	2 88	12 39	12 47	26 7	26 9	26 8	27 2	27 3	25 5
L 74	3 19	2 89	12 40	12 48	26 8	27 0	26 9	27 3	27 4	25 6
L 75	3 20	2 90	12 41	12 49	26 9	27 1	27 0	27 4	27 5	25 7
L 76	3 21	2 91	12 42	12 50	27 0	27 2	27 1	27 5	27 6	25 8
L 77	3 22	2 92	12 43	12 51	27 1	27 3	27 2	27 6	27 7	25 9
L 78	3 23	2 93	12 44	12 52	27 2	27 4	27 3	27 7	27 8	26 0
L 79	3 24	2 94	12 45	12 53	27 3	27 5	27 4	27 8	27 9	26 1
L 80	3 25	2 95	12 46	12 54	27 4	27 6	27 5	27 9	28 0	26 2
L 81	3 26	2 96	12 47	12 55	27 5	27 7	27 6	28 0	28 1	26 3
L 82	3 27	2 97	12 48	12 56	27 6	27 8	27 7	28 1	28 2	26 4
L 83	3 28	2 98	12 49	12 57	27 7	27 9	27 8	28 2	28 3	26 5
L 84	3 29	2 99	12 50	12 58	27 8	28 0	27 9	28 3	28 4	26 6
L 85	3 30	3 00	12 51	12 59	27 9	28 1	28 0	28 4	28 5	26 7
L 86	3 31	3 01	12 52	13 00	28 0	28 2	28 1	28 5	28 6	26 8
L 87	3 32	3 02	12 53	13 01	28 1	28 3	28 2	28 6	28 7	26 9
L 88	3 33	3 03	12 54	13 02	28 2	28 4	28 3	28 7	28 8	27 0
L 89	3 34	3 04	12 55	13 03	28 3	28 5	28 4	28 8	28 9	27 1
L 90	3 35	3 05	12 56	13 04	28 4	28 6	28 5	28 9	29 0	27 2
L 91	3 36	3 06	12 57	13 05	28 5	28 7	28 6	29 0	29 1	27 3
L 92	3 37	3 07	12 58	13 06	28 6	28 8	28 7	29 1	29 2	27 4
L 93	3 38	3 08	12 59	13 07	28 7	28 9	28 8	29 2	29 3	27 5
L 94	3 39	3 09	13 00	13 08	28 8	29 0	28 9	29 3	29 4	27 6
L 95	3 40	3 10	13 01	13 09	28 9	29 1	29 0	29 4	29 5	27 7
L 96	3 41	3 11	13 02	13 10	29 0	29 2	29 1	29 5	29 6	27 8
L 97	3 42	3 12	13 03	13 11	29 1	29 3	29 2	29 6	29 7	27 9
L 98	3 43	3 13	13 04	13 12	29 2	29 4	29 3	29 7	29 8	28 0
L 99	3 44	3 14	13 05	13 13	29 3	29 5	29 4	29 8	29 9	28 1
L 100	3 45	3 15	13 06	13 14	29 4	29 6	29 5	29 9	30 0	28 2
L 101	3 46	3 16	13 07	13 15	29 5	29 7	29 6	30 0	30 1	28 3
L 102	3 47	3 17	13 08	13 16	29 6	29 8	29 7	30 1	30 2	28 4
L 103	3 48	3 18	13 09	13 17	29 7	29 9	29 8	30 2	30 3	28 5
L 104	3 49	3 19	13 10	13 18	29 8	30 0	29 9	30 3	30 4	28 6
L 105	3 50	3 20	13 11	13 19	29 9	30 1	30 0	30 4	30 5	28 7
L 106	3 51	3 21	13 12	13 20	30 0	30 2	30 1	30 5	30 6	28 8
L 107	3 52	3 22	13 13	13 21	30 1	30 3	30 2	30 6	30 7	28 9
L 108	3 53	3 23	13 14	13 22	30 2	30 4	30 3	30 7	30 8	29 0
L 109	3 54	3 24	13 15	13 23	30 3	30 5	30 4	30 8	30 9	29 1
L 110	3 55	3 25	13 16	13 24	30 4	30 6	30 5	30 9	31 0	29 2
L 111	3 56	3 26	13 17	13 25	30 5	30 7	30 6	31 0	31 1	29 3
L 112	3 57	3 27	13 18	13 26	30 6	30 8	30 7	31 1	31 2	29 4
L 113	3 58	3 28	13 19	13 27	30 7	30 9	30 8	31 2	31 3	29 5
L 114	3 59	3 29	13 20	13 28	30 8	31 0	30 9	31 3	31 4	29 6
L 115	3 60	3 30	13 21	13 29	30 9	31 1	31 0	31 4	31 5	29 7
L 116	3 61	3 31	13 22	13 30	31 0	31 2	31 1	31 5	31 6	29 8
L 117	3 62	3 32	13 23	13 31	31 1	31 3	31 2	31 6	31 7	29 9
L 118	3 63	3 33	13 24	13 32	31 2	31 4	31 3	31 7	31 8	30 0
L 119	3 64	3 34	13 25	13 33	31 3	31 5	31 4	31 8	31 9	30 1
L 120	3 65	3 35	13 26	13 34	31 4	31 6	31 5	31 9	32 0	30 2
L 121	3 66	3 36	13 27	13 35	31 5	31 7	31 6	32 0	32 1	30 3
L 122	3 67	3 37	13 28	13 36	31 6	31 8	31 7	32 1	32 2	30 4
L 123	3 68	3 38	13 29	13 37	31 7	31 9	31 8	32 2	32 3	30 5
L 124	3 69	3 39	13 30	13 38	31 8	32 0	31 9	32 3	32 4	30 6
L 125	3 70	3 40	13 31	13 39	31 9	32 1	32 0	32 4	32 5	30 7
L 126	3 71	3 41	13 32	13 40	32 0	32 2	32 1	32 5	32 6	30 8
L 127	3 72	3 42	13 33	13 41	32 1	32 3	32 2	32 6	32 7	30 9
L 128												

Caudales, en flujo libre para el aforador Parshall,
según la carga y el ancho de la garganta

Carga H. (pies)	Descarga, Q, para anchuras de garganta, W, de-											
	3 pulg.	4 pulg.	5 pulg.	1 pie	1.5 pies	2 pies	3 pies	4 pies	5 pies	6 pies	7 pies	8 pies
.80	.702	1.45	2.18	2.85	4.36	5.66	8.46	11.3	14.0	16.8	19.6	22.4
.81	.716	1.46	2.22	2.90	4.34	5.77	8.63	11.5	14.3	17.2	19.9	22.8
.82	.730	1.48	2.27	2.96	4.43	5.88	8.79	11.7	14.6	17.5	20.2	23.1
.83	.744	1.51	2.31	3.02	4.50	6.00	8.96	11.9	14.9	17.8	20.5	23.4
.84	.757	1.53	2.35	3.07	4.59	6.11	9.13	12.2	15.2	18.2	20.8	23.7
.85	.771	1.56	2.39	3.13	4.67	6.22	9.30	12.4	15.5	18.5	21.1	24.0
.86	.785	1.62	2.44	3.18	4.76	6.33	9.48	12.6	15.8	18.8	21.4	24.3
.87	.800	1.65	2.48	3.24	4.84	6.44	9.65	12.8	16.0	19.2	21.7	24.6
.88	.814	1.68	2.52	3.29	4.93	6.56	9.82	13.1	16.3	19.5	22.0	24.9
.89	.828	1.71	2.57	3.35	5.01	6.68	10.0	13.3	16.6	19.8	22.3	25.2
.90	.843	1.74	2.61	3.41	5.10	6.80	10.2	13.6	16.9	20.2	22.6	25.5
.91	.858	1.77	2.66	3.46	5.19	6.92	10.4	13.8	17.2	20.5	22.9	25.8
.92	.872	1.81	2.70	3.52	5.28	7.03	10.5	14.0	17.5	20.8	23.2	26.1
.93	.887	1.84	2.75	3.58	5.37	7.15	10.7	14.3	17.8	21.1	23.5	26.4
.94	.902	1.87	2.79	3.64	5.46	7.27	10.9	14.5	18.1	21.4	23.8	26.7
.95	.916	1.90	2.84	3.70	5.55	7.39	11.1	14.8	18.4	21.7	24.1	27.0
.96	.931	1.93	2.88	3.76	5.64	7.51	11.3	15.0	18.7	22.0	24.4	27.3
.97	.946	1.97	2.92	3.82	5.73	7.63	11.4	15.3	19.1	22.3	24.7	27.6
.98	.961	2.00	2.96	3.88	5.82	7.75	11.6	15.5	19.4	22.6	25.0	27.9
.99	.977	2.03	3.02	3.94	5.91	7.88	11.8	15.8	19.7	22.9	25.3	28.2
1.00	.992	2.06	3.07	4.00	6.00	8.00	12.0	16.0	20.0	24.0	26.0	28.0
1.01	1.01	2.09	3.12	4.06	6.09	8.12	12.2	16.3	20.3	24.4	26.4	28.4
1.02	1.02	2.12	3.17	4.12	6.19	8.25	12.4	16.5	20.6	24.8	26.8	28.8
1.03	1.04	2.16	3.21	4.18	6.28	8.38	12.6	16.8	21.0	25.2	27.2	29.2
1.04	1.05	2.19	3.26	4.25	6.37	8.50	12.8	17.0	21.3	25.6	27.6	29.6
1.05	1.07	2.22	3.31	4.31	6.47	8.63	13.0	17.3	21.6	26.0	28.0	30.0
1.06	1.09	2.26	3.36	4.37	6.56	8.76	13.2	17.5	21.9	26.4	28.4	30.4
1.07	1.10	2.29	3.40	4.43	6.65	8.88	13.3	17.8	22.2	26.8	28.8	30.8
1.08	1.12	2.32	3.45	4.50	6.75	9.01	13.5	18.1	22.5	27.1	29.1	31.1
1.09	1.13	2.36	3.50	4.56	6.85	9.14	13.7	18.3	22.8	27.5	29.5	31.5
1.10	1.15	2.40	3.55	4.62	6.95	9.27	13.9	18.6	23.1	27.9	29.9	31.9
1.11	1.16	2.44	3.60	4.68	7.04	9.40	14.1	18.9	23.4	28.3	30.3	32.3
1.12	1.18	2.48	3.65	4.75	7.14	9.54	14.3	19.1	23.7	28.7	30.7	32.7
1.13	1.20	2.52	3.70	4.82	7.24	9.67	14.5	19.4	24.0	29.1	31.1	33.1
1.14	1.21	2.55	3.75	4.88	7.34	9.80	14.7	19.7	24.3	29.5	31.5	33.5
1.15	1.23	2.59	3.80	4.94	7.44	9.94	14.9	19.9	24.6	29.9	31.9	33.9
1.16	1.25	2.63	3.85	5.01	7.54	10.1	15.1	20.2	24.9	30.3	32.3	34.3
1.17	1.26	2.66	3.90	5.08	7.64	10.2	15.3	20.5	25.2	30.7	32.7	34.7
1.18	1.28	2.69	3.95	5.15	7.74	10.3	15.5	20.8	25.5	31.1	33.1	35.1
1.19	1.30	2.71	4.01	5.21	7.84	10.5	15.8	21.1	25.8	31.5	33.5	35.5
1.20	1.32	2.75	4.06	5.28	7.94	10.6	16.0	21.3	26.1	31.9	33.9	35.9
1.21	1.33	2.78	4.11	5.34	8.05	10.8	16.2	21.6	26.4	32.3	34.3	36.3
1.22	1.35	2.81	4.16	5.41	8.15	10.9	16.4	21.9	26.7	32.7	34.7	36.7
1.23	1.37	2.84	4.22	5.48	8.25	11.0	16.6	22.2	27.0	33.1	35.1	37.1
1.24	1.38	2.88	4.27	5.55	8.36	11.2	16.8	22.5	27.3	33.5	35.5	37.5
1.25	1.40	2.92	4.32	5.62	8.46	11.3	17.0	22.8	27.6	33.9	35.9	37.9
1.26	1.42	2.95	4.37	5.69	8.56	11.5	17.2	23.1	27.9	34.3	36.3	38.3
1.27	1.44	2.99	4.43	5.76	8.67	11.6	17.4	23.4	28.2	34.7	36.7	38.7
1.28	1.46	3.04	4.48	5.83	8.77	11.7	17.6	23.7	28.5	35.1	37.1	39.1
1.29	1.47	3.08	4.53	5.90	8.88	11.9	17.8	24.0	28.8	35.5	37.5	39.5
1.30	1.50	3.12	4.58	5.97	8.99	12.0	18.0	24.3	29.1	35.9	37.9	39.9
1.31	1.52	3.16	4.63	6.04	9.10	12.2	18.2	24.6	29.4	36.3	38.3	40.3
1.32	1.54	3.20	4.68	6.11	9.21	12.3	18.4	24.9	29.7	36.7	38.7	40.7
1.33	1.56	3.24	4.73	6.18	9.32	12.4	18.6	25.2	30.0	37.1	39.1	41.1
1.34	1.58	3.28	4.78	6.25	9.43	12.6	18.8	25.5	30.3	37.5	39.5	41.5
1.35	1.60	3.32	4.83	6.32	9.54	12.7	19.0	25.8	30.6	37.9	39.9	41.9
1.36	1.62	3.36	4.88	6.39	9.65	12.9	19.2	26.1	30.9	38.3	40.3	42.3
1.37	1.64	3.40	4.93	6.46	9.76	13.0	19.4	26.4	31.2	38.7	40.7	42.7
1.38	1.66	3.44	4.98	6.53	9.87	13.2	19.6	26.7	31.5	39.1	41.1	43.1
1.39	1.68	3.48	5.03	6.60	9.98	13.3	19.8	27.0	31.8	39.5	41.5	43.5
1.40	1.70	3.52	5.08	6.67	10.09	13.5	20.0	27.3	32.1	39.9	41.9	43.9
1.41	1.72	3.56	5.13	6.74	10.20	13.6	20.2	27.6	32.4	40.3	42.3	44.3
1.42	1.74	3.60	5.18	6.81	10.31	13.8	20.4	27.9	32.7	40.7	42.7	44.7
1.43	1.76	3.64	5.23	6.88	10.42	13.9	20.6	28.2	33.0	41.1	43.1	45.1
1.44	1.78	3.68	5.28	6.95	10.53	14.1	20.8	28.5	33.3	41.5	43.5	45.5
1.45	1.80	3.72	5.33	7.02	10.64	14.2	21.0	28.8	33.6	41.9	43.9	45.9
1.46	1.82	3.76	5.38	7.09	10.75	14.4	21.2	29.1	33.9	42.3	44.3	46.3
1.47	1.84	3.80	5.43	7.16	10.86	14.5	21.4	29.4	34.2	42.7	44.7	46.7
1.48	1.86	3.84	5.48	7.23	10.97	14.7	21.6	29.7	34.5	43.1	45.1	47.1
1.49	1.88	3.88	5.53	7.30	11.08	14.8	21.8	30.0	34.8	43.5	45.5	47.5

Cálculo del tirante normal:

$$Q = \frac{1}{0.025} \frac{(b y_n)^{5/3} (0.0005)^{1/2}}{(b + 2 y_n)^{2/3}}$$

$$0.3 = \frac{0.02236}{0.025} * 2 y_n \frac{(2 y_n)^{0.6667}}{(2 + 2 y_n)}$$

$$0.335 = 2y \left(\frac{2 y_n}{2 + 2 y_n} \right)^{0.6667}$$

$$F(y_n) = 2y_n \left(\frac{2 y_n}{2 + 2 y_n} \right)^{0.6667}$$

$$F(y_n)^* = 0.335$$

$$F(y_n=1) = 2 \left(\frac{1}{4} \right)^{0.6667} = 2 \left(\frac{1}{2} \right)^{0.6667} = 1.2599$$

$$F(y_n=1) = 1.2599 > F(y_n)^*$$

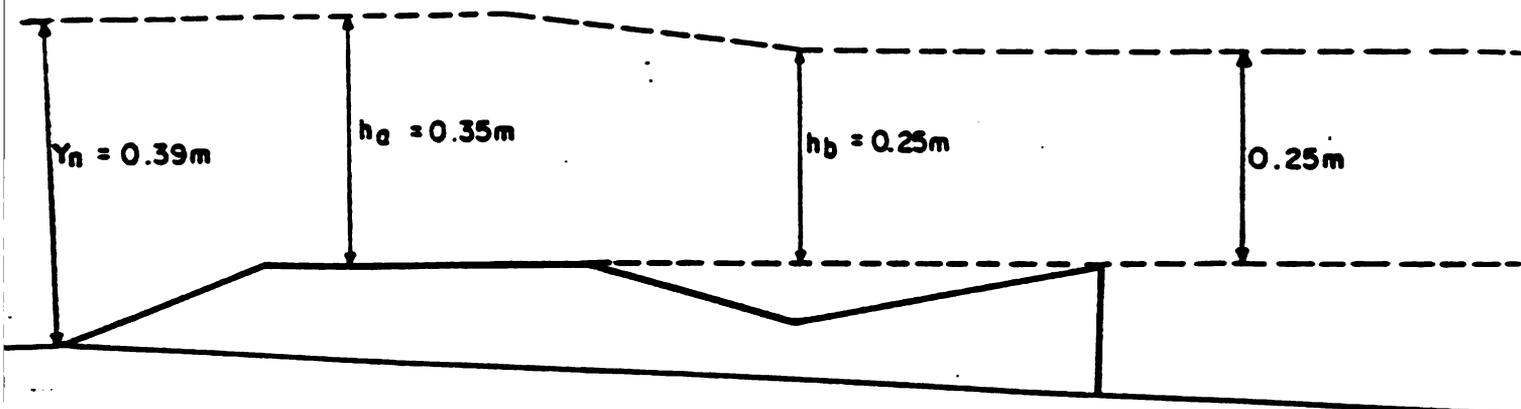
$$F(y=0.5) = 1.0 \left(\frac{1}{2+1} \right)^{0.6667} = 0.4807 > f(y_n)^*$$

$$F(y=0.4) = 0.8 \left(\frac{0.8}{2.8} \right)^{0.6667} = 0.3470 > F(y_n)^*$$

$$F(y=0.39) = 0.78 \left(\frac{0.78}{2.78} \right)^{0.6667} = 0.3343$$

Las relaciones de carga aguas arriba, sumergencia y aguas abajo son :

carga aguas arriba	ancho de la garganta	sumergencia	carga aguas arriba
0.27	0.91	0.7	0.19
0.23	1.22	0.7	0.16
0.35	0.61	0.7	0.25
0.56	0.30	0.7	0.39



Si utilizamos un aforador Parshall de 0.61 m , la carga aguas arriba para el caudal de $0.30\text{ m}^3/\text{s}$ es de 0.35 m y la altura aguas abajo para una sumergencia de 0.7 es de 0.25 m . Para acoplarse con el flujo normal se requiere que el lecho aguas arriba se levante 0.04 m y que aguas abajo disminuya 0.14 m . Luego de instalado el aforador Parshall con sus limnímetros debe verificarse la sumergencia y calibrarse para obtener la relación:

$$Q = F(h_a)$$

El aforador sin cuello

Es un instrumento para medir el caudal basado en la creación del flujo crítico mediante el estrechamiento de la sección transversal. El lecho del aforador es horizontal lo que facilita su instalación. Está conformado por una sección de entrada convergente (3:1) y longitud L_1 de paredes verticales. El cuello, una sección divergente (6:1) de paredes verticales y longitud L_2 . El fondo o plantilla del aforador es horizontal.

El aforador sin cuello se identifica por el ancho del cuello (A) y la longitud del instrumento (l). Así un aforador 20×90 tiene un ancho del cuello de 0.20 m y un largo de 0.90 m . El ancho de la sección de entrada y el de la salida son iguales y se determina por la expresión:

$$B = A + (L/4.5) \text{ o también}$$

$$B = A + 2 L_1/3 = A + L_2/3$$

Para calcular el caudal es necesario medir las alturas del nivel de agua tanto aguas arriba como aguas abajo del cuello y con respecto al fondo del canal para lo cual, se requiere instalar los piezómetros a las longitudes L_a y L_b .

$$L_a = 2L/q \quad L_b = 5L/q$$

En los piezómetros se colocan limnómetros para leer directamente las alturas h_a y h_b .

Principio de la medición del caudal

La medición del caudal se basa en la producción del flujo crítico. Si el grado de sumergencia (h_b/h_a) es mayor que el valor límite para el tipo de aforador, se dice que este trabaja en flujo sumergido, en caso contrario el flujo es libre. Para esta situación el caudal puede estimarse a partir de la lectura de la altura aguas arriba (h_a), mientras que en el primer caso se requiere de las dos lecturas. En el flujo sumergido las condiciones aguas abajo influyen sobre las de aguas arriba y el caudal se ve afectado. Para cada aforador sin cuello existe un valor de sumergencia transitoria (S_t) a partir de la cual el flujo se considera sumergido:

Valores de S_t , n , y , k para flujo libre

L(m)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6
S_t (%)	60.7	62	63	64.2	65.3	66.4	68.5	70.5	72
n	2.08	1.989	1.932	1.88	1.843	1.81	1.756	1.712	1.675
k	6.15	5.17	4.63	4.18	3.89	3.60	3.22	2.93	2.72

L(m)	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.7
St(%)	73.8	75.5	77.0	78.4	79.5	80.5
n	1.646	1.620	1.60	1.579	1.568	1.562
k	2.53	2.40	2.30	2.22	2.15	2.13

Ecuaciones de diseño del aforador sin cuello

Flujo libre: En este tipo de flujo se admite una relación unívoca entre el caudal y la altura aguas arriba.

$$Q = C (h_a)^n$$

donde:

Q = caudal m³/s

C = coeficiente de flujo libre, depende de la longitud y del ancho del cuello del aforador

h_a = nivel del agua, en el piezómetro aguas arriba (m)

n = exponente del flujo libre, depende de la longitud del aforador

Experimentalmente, se ha determinado una relación entre C y A (ancho del cuello del aforador)

$$C = K A^{1.025}$$

donde:

A = ancho del cuello del aforador

K = coeficiente de la longitud del aforador para flujo libre

Flujo sumergido

En este caso se requiere disponer de dos lecturas piezométricas.

$$Q = C_s (h_a - h_b)^n / (\text{colog } S)^{n_s}$$

donde:

Q = caudal m³/s

h_a = nivel del agua, en el piezómetro aguas arriba (m)

h_b = lectura piezométrica, aguas abajo (m)

n = exponente del flujo libre

n_s = exponente del flujo sumergido, depende de la longitud del aforador

S = sumergencia (h_b/h_a)

C_s = coeficiente del flujo sumergido, depende de la longitud y del ancho del cuello del aforador

$$C_s = K_s A^{1.025}$$

donde:

A = ancho del cuello del aforador

K_s = coeficiente de la longitud del aforador para el flujo sumergido

Valores de K_s y n_s (flujo sumergido)

L(m)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6
n_s	1.675	1.60	1.55	1.513	1.483	1.456	1.427	1.407	1.393
K_s	3.5	2.9	2.6	2.35	2.15	2.0	1.75	1.56	1.45

L(m)	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.7
n_s	1.386	1.381	1.378	1.381	1.386	1.39
K_s	1.32	1.24	1.18	1.12	1.08	1.06

Ejemplos de uso de las fórmulas:

1- Calcular la descarga de un canal donde se ha instalado un aforador sin cuello de 20 * 180 cm (ancho del cuello 20 cm, largo del aparato 180 cm). En flujo establecido se tiene que $h_a = 0.25$ m y $h_b = 0.10$ m

Solución:

Cálculo de $S = h_a/h_b = 0.1/0.25 = 40\%$

$S_t = 73.8$; $S < S_t$ flujo libre

Cálculo del coeficiente C del flujo libre

$C = 2.53 (0.20) 1.025 = 0.486$

$Q = 0.486 (0.25) 1.646 = 0.0496 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q = 50 \text{ l/s}$

2- En un aforador sin cuello de 20 * 90 (A = 20 cm y L = 90 cm) se ha medido $h_a = 0.27$ m y $h_b = 0.22$ m. Estimar el caudal.

Solución

Cálculo de $S = 0.22/0.27 = 0.81$

$S_t = 65.3 < S$; El flujo es sumergido

$$\text{Cálculo de } C_s = 2.15 (0.20)^{1.025} = 0.413$$

$$S = 0.81 ; \log 0.81 = 1.908485 ; \text{colog } 0.81 = 0.09$$

$$Q = 0.413(0.27 - 0.22)^{1.843} / (0.09)^{1.483} = 0.001653/0.0281$$

$$Q = 0.059 = 59 \text{ l/s}$$

Instalación de un aforador sin cuello

Selección del sitio de instalación.

Es aconsejable que el aforador se instale en un tramo uniforme del canal para que las líneas de corriente ingresen uniformemente a la sección convergente del aforador. Para seleccionar el tipo de aforador es necesario conocer los caudales normales máximos y mínimos que pasarán por el aforador. También los respectivos tirantes así como el ancho, el talud, y el borde libre del canal. Debe destacarse que la introducción del aparato en el canal, perturbará el flujo, especialmente, aguas arriba.

Situación del flujo libre

Por la facilidad en la determinación del caudal se prefiere que el aforador funcione en flujo libre.

Ejemplo de selección de un aforador sin cuello para que funcione en flujo libre. $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ es el máximo caudal que discurre por un canal trapecial ($z=1$; $b=1.25$ y borde libre igual a 0.12 m). Escoger el aforador sin cuello más conveniente para medir los caudales. ($I = 0.0005$ y $n=0.025$)

Solución:

Cálculo del tirante normal.

$$\frac{0.3 + 0.025}{0.0223} = \frac{(1.25y + y^2)^{5/3}}{(1.25 + 2y\sqrt{1+1})^{2/3}}$$

$$0.3363 = \frac{1.25y + y^2)^{1.6667}}{(1.25 + 2.8284y)^{2/3}}$$

$$F(y^*) = 0.3363$$

$$y = 1 ; F(1) = 1.5147$$

$$y = 0.5 ; F(0.5) = 0.4165$$

$$y = 0.45 ; F(0.45) = 0.3453$$

$$y = 0.44 ; F(0.44) = 0.3318$$

Admitamos que:

$$\begin{aligned}
 F(y^*) &= F(0.44) \\
 y^* &= 0.44 \text{ m} \\
 y_n &= 0.44 \text{ m}
 \end{aligned}$$

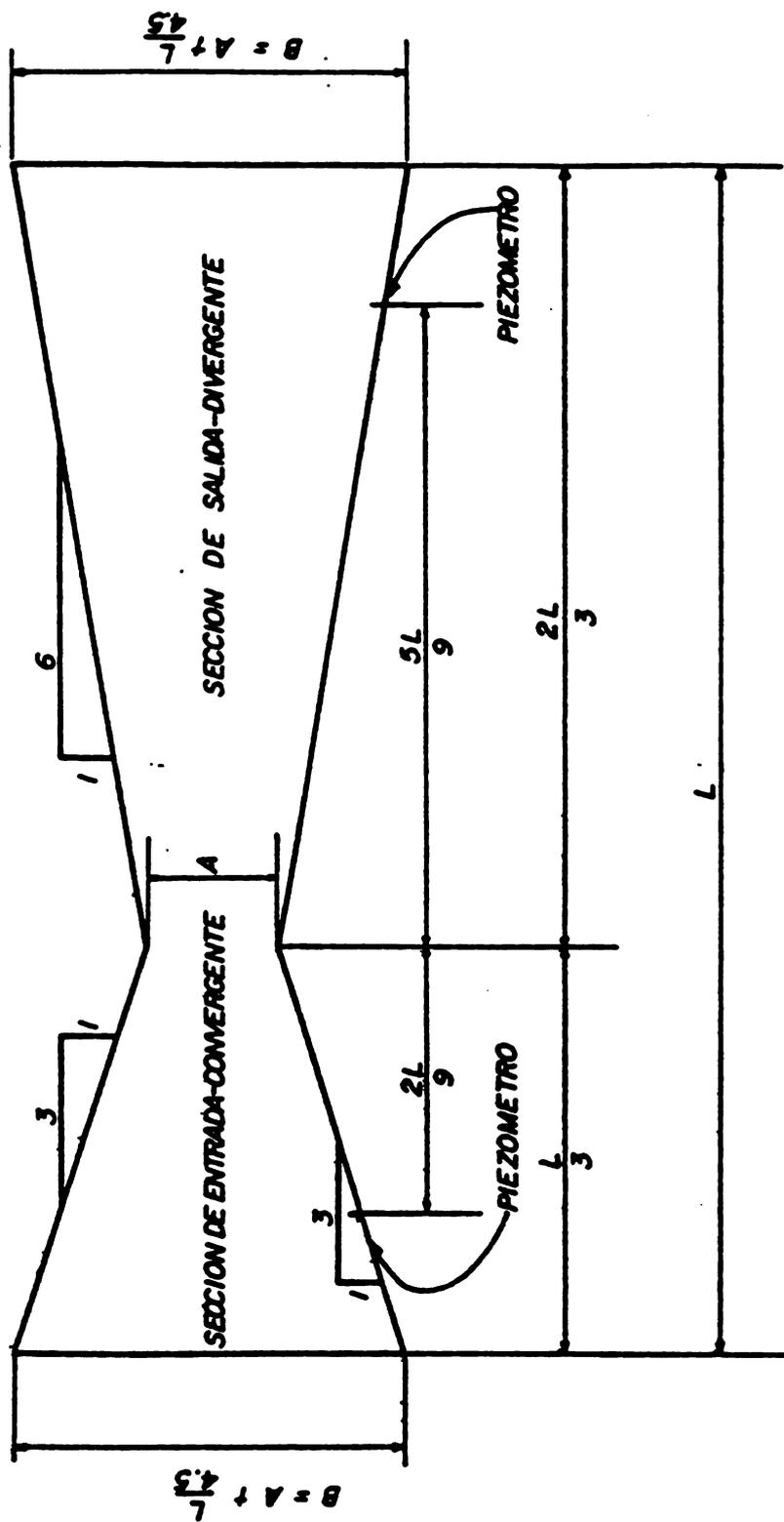
Determinemos el valor de h_a correspondiente al caudal 0.3 m³/s, empleando:

$$Q = C h_a^n$$

Dimensiones aforador	n	k	C	h_a	S_t	h_b
20 * 180	1.648	2.53	0.486	0.746	73.4	54.8
20 * 240	1.579	2.22	0.4265	0.800	78.4	62.7
20 * 270	1.562	2.13	0.4092	0.820	80.5	66.0
40 * 180	1.648	2.53	0.9891	0.4849	73.4	35.0
40 * 240	1.579	2.22	0.8679	0.5103	78.4	40.0
40 * 270	1.562	2.13	0.8327	0.5202	80.5	42.0

Podemos escoger para este caso, el aforador (40 * 180) para medir los 300 lps, $h_a = 0.48$ m y $h_b = 0.35$ m. Considerando que el tirante normal es de 0.44 m, el fondo del canal aguas abajo del aforador hará subir el nivel de agua 0.13 m. Equivalente a la pérdida de carga ($h_a - h_b$) $0.48 - 0.35 = 0.13$ m; luego la profundidad del canal aguas arriba, para evitar el desbordamiento deberá ser $0.48 + 0.13 = 0.61$, es decir; que es necesario aumentar el nivel del bordo del canal para satisfacer esta condición.

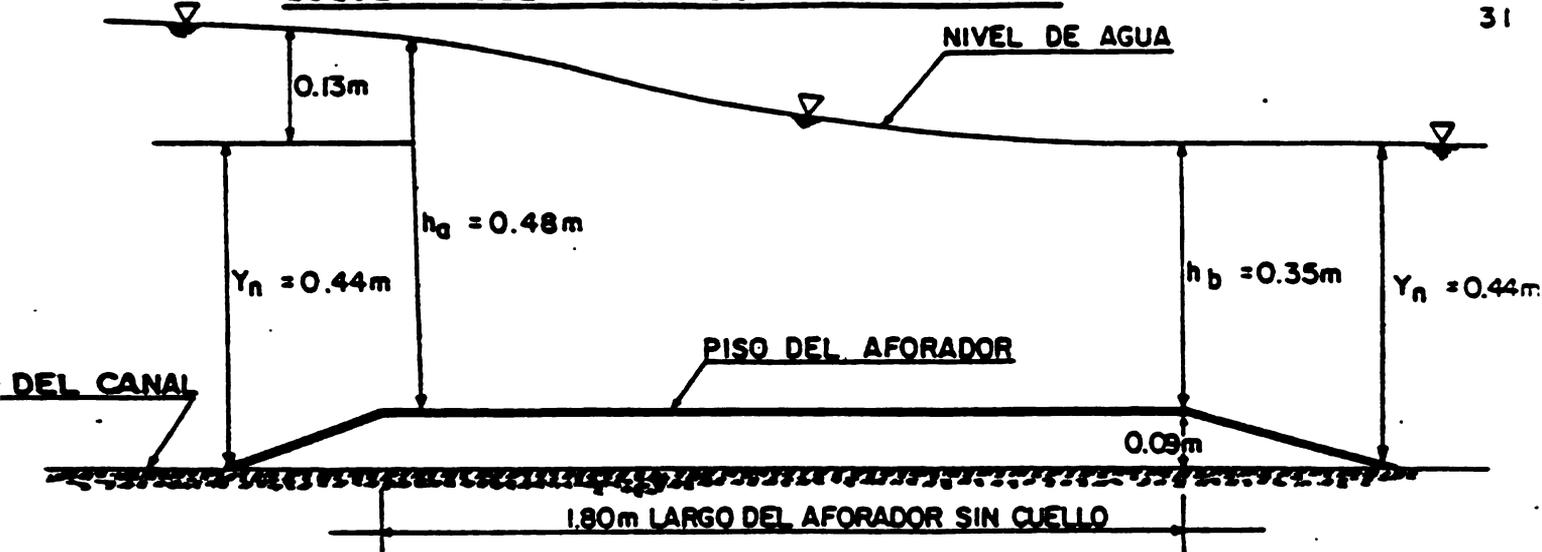
Después de instalado el aparato, debe verificarse su correcto funcionamiento, incluyendo los dos limnómetros en los piezómetros. Es necesario calibrar el aforador para encontrar los valores correspondientes que permitirán determinar el caudal en función de h_a .



ESQUEMA DEL AFORADOR SIN CUELLO-PLANTA

ESQUEMA DEL AFORADOR SIN CUELLO

31



b- Medición del caudal por medios químicos:

Se base en el principio de una solubilidad completa y homogénea de una sal en el agua. De tal manera que el cambio de concentración permita calcular el caudal.

Sea: C_0 la concentración natural de la sal en el curso de agua; objeto de medición.

C_1 la concentración de la sal que se inyectará en el curso de agua; se admite que la calidad de q_0 y q_1 es la misma.

C_2 la concentración de la sal en la muestra extraída del curso de agua, después de haberse disuelto homogéneamente en el curso de agua.

La aplicación del principio de conservación de la masa nos muestra que:

$$C_0 Q + C_1 q = C_2 (Q + q)$$

$$C_0 Q + C_1 q = C_2 Q + C_2 q$$

$$(C_2 - C_0) Q = q (C_1 - C_2)$$

$$Q = \frac{q (C_1 - C_2)}{(C_2 - C_0)}$$

donde:

Q = caudal que se desea medir

q = caudal que se agrega en el curso y que sirve para inyectar la sal en el agua.

Se admite que: $C_1 \gg C_0$ y $C_1 \gg C_2$

Para facilitar, la medición del caudal es conveniente que

1- Se emplee una sal de bajo costo y que su concentración sea mínima en el caudal objeto de medición.

2- El flujo debe ser turbulento para lograr la disolución completa de la sal aplicada.

3- El tramo entre la inyección de la sal y la toma de la muestra, debe ser suficientemente largo para favorecer la homogenización total de la sal.

El conocimiento del caudal, en un sistema de riego es de gran importancia para planificar su uso en la agricultura de regadío, con el fin de optimizar su empleo en la búsqueda de lograr los mayores beneficios, permanentemente, lo que conlleva la conservación y protección de los recursos para enmarcarla dentro de los criterios de Desarrollo Sostenible.

Bibliografía:

- 1- Ven-te- Chow. 1981. Open Channel Flow (Flujo en canales). Mc Graw-Hill International book Company. México. 680 páginas. (17 impresión)
- 2- Servicio de Conservación de Suelos. U.S.D.A. 1979. Medición del agua de riego. Editorial Diana México. 86 páginas (Colección Ingeniería de Suelos)
- 3- Alfaro José F. 1980. Medición de agua en Canales por medio del aforador sin cuello. Sub-Secretaría de Recursos Naturales. Departamento de Tierras y Aguas. Santo Domingo. República Dominicana. 44 páginas.

CONVENIO IICA-SENARA

II ETAPA DEL PROYECTO DE RIEGO ARENAL TEMPISQUE

**PRINCIPIOS HIDRAULICOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL
AFORADOR PARSHALL EN EL CANAL PRINCIPAL BAGATZI**

Por
H. Pizarro
R. Murillo

Ley de Préstamo 208-IC-CR

**BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
FONDO DE INVERSION DE VENEZUELA**

SETIEMBRE 1992

**PRINCIPIOS HIDRAULICOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL AFORADOR
PARSHALL EN EL CANAL PRINCIPAL DE BAGATZI**

TABLA DE CONTENIDO

I	INTRODUCCION	1
II	REVISION DE LOS PRINCIPIOS HIDRAULICOS QUE CONDUCE AL FLUJO CRITICO	2
	2.1 El aforador Parshall	2
	2.2 La energía	2
	2.3 La energía por unidad de peso	2
	2.4 La energía específica	5
	2.5 La energía total	11
III	PRINCIPIOS BASICOS DE LA SIMILITUD HIDRAULICA	13
	3.1 Similitud geométrica	13
	3.2 Similitud cinemática	14
	3.3 Similitud dinámica	15
	3.4 Los números adimensionales o Leyes de similitud hidráulica	16
	3.5 Ejemplos de aplicación	18
	3.6 Ejemplos numéricos	20
IV	CALIBRACION DEL AFORADOR PARSHALL EN EL CANAL CL (BAGATZI) EN FLUJO LIBRE	21
	4.1 Procedimiento para la calibración	24
	4.2 Observaciones	25
	4.3 Recomendaciones para el uso de la ecuación de calibración	26
V	BIBLIOGRAFIA	28
VI	ANEXO 1 MEDICION DE CAUDALES	29

**PRINCIPIOS HIDRAULICOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL AFORADOR
PARSHALL EN EL CANAL PRINCIPAL DE BAGATZI**

LISTA DE CUADROS

1	Valores de θ , $\cos\theta$ y de la pendiente del canal	5
2	Caudales en l/s en función de la carga hidráulica en cm para el aforador Parshall del Canal CL (Bagatzi) de 1.52.m de ancho de garganta	25
3	Determinación del caudal para el aforo Nº 1	31
4	Determinación del caudal para el aforo Nº 2	32
5	Determinación del caudal para el aforo Nº 3	33

LISTA DE FIGURAS

1	Esquema del flujo de agua en canales	4
2	Componentes de la energía	4
3	Curva de energía específica	10
4	Aforador Parshall en el canal CL Bagatzi	22
5	Curva de calibración del aforador Parshall en el canal CL Bagatzi	23
6	Sección transversal Estación de Medición Canal CL (Bagatzi) Aforo Nº 1	34
7	Sección transversal Estación de Medición Canal CL (Bagatzi) Aforo Nº 2	35
8	Sección transversal Estación de Medición Canal CL (Bagatzi) Aforo Nº 3	36

PRINCIPIOS HIDRAULICOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL AFORADOR PARSHALL EN EL CANAL PRINCIPAL DE BAGATZI

H.Pizarro 1
R.Murillo 2

I. INTRODUCCION.

El agua de riego que abastece las tierras del PRAT es un insumo muy valioso para la producción agrícola puesto que permite desarrollar una actividad agropecuaria intensiva que ha transformado la situación económica de la región, la cual se manifiesta en la obtención de dos cosechas de arroz por año, en el aumento de la productividad, en la creación de puestos de trabajo y en el mejor nivel de vida de la población.

Para obtener el óptimo aprovechamiento del agua de riego ésta debe controlarse o medirse porque los defectos y los excesos son dañinos a la agricultura ya que deterioran la capacidad productiva de los suelos y afectan los rendimientos.

La medición de los caudales permite hacer una distribución equitativa del agua disponible, especialmente, en la época de mayores demandas y/o de menor disponibilidad, al mismo tiempo que se motiva al uso racional y a una mayor eficiencia en su utilización. Este efecto disminuye el costo del agua de riego cuando la tarifa se aplica por volumen consumido y aumenta la superficie cultivada en agricultura de regadío lo que se traduce en una mayor producción, mayor mano de obra y mayor beneficio para la sociedad.

Para una adecuada operación y distribución del agua de riego entre los usuarios es necesario que los canales de la red de riego y drenaje estén provistos de estructuras de medición, calibradas y dotadas de un limnómetro con su respectivo gráfico que relacione el caudal con la carga de agua.

1 Consultor en extensionismo en Riego y Drenaje. Convenio IICA-SENARA

2 Ingeniero Agrícola Departamento de Operación y Mantenimiento, Distrito de Riego Arenal

Empleando las ventajas que ofrece el flujo crítico en que el caudal, en flujo libre mantiene una relación unívoca con el tirante se ha diseñado el aforador Parshall el cual se emplea desde 1926. En el PRAT se ha instalado dos (02) estructuras de ese tipo: Una en el canal Principal CL Bagatzí y la otra en el canal Principal San Luis. Aquí nos ocuparemos del primero.

En general, entre el diseño y la construcción de una estructura se constatan diferencias, por otro lado el diseño se basa en fórmulas teóricas deducidas en condiciones ideales de funcionamiento, las cuales sufren modificaciones cuando la estructura trabaja en condiciones reales. Por las razones expuestas, una vez construida o instalada una estructura de medición es necesario calibrarla para disponer de una relación confiable. Para el aforador Parshall al que nos referimos en este trabajo en la calibración hemos usado un modelo potencial que relaciona el caudal y la carga hidráulica. Esta última que corresponde al tirante crítico fue medida a $2/3$ de la longitud convergente a partir de la cresta y el caudal respectivo se calculó por el procedimiento Area - Velocidad, ésta última se midió con un molinete.

Una alternativa muy generalizada, en hidráulica en la época actual, es el empleo de modelos físicos en los cuales se estudia detalladamente el comportamiento del fluido según la forma de los límites de la estructura pero para hacer una inferencia válida de los logros en el modelo al ente real o prototipo se requiere que haya similitud hidráulica, aspecto que incluimos en este documento para motivar el interés por el uso de estas herramientas de trabajo.

II. REVISIÓN DE LOS PRINCIPIOS HIDRÁULICOS QUE CONDUCEN AL FLUJO CRÍTICO

2.1 El aforador Parshall.

El aforador que nos ocupa fue desarrollado en 1926 por Ralph Parshall en la Universidad del estado de Colorado en Fort Collins en Estados Unidos de Norte América. Es un instrumento muy empleado para medir caudales en canales. La producción del flujo crítico se logra actuando sobre la reducción del ancho del canal y sobre la variación de la pendiente de fondo.

2.2 La energía.

La energía es la capacidad de desarrollar un trabajo, se mide en joules (o en kilowat-hora). En el sistema internacional de medidas se tiene:

1 joule = 1 newton-metro⁻¹ (energía mecánica)

1 watt = 1 joule/segundo (potencia eléctrica)

2.3 La energía por unidad de peso.

La energía por unidad de peso en las secciones (S₁) y (S₂) del canal con respecto al plano de referencia. Según la ecuación de Bernoulli, se expresa como sigue:

$$H_1 = Z_1 + Y_1 \cos\theta + \alpha_1 V_1^2/2g \quad (1)$$

$$H_2 = Z_2 + Y_2 \cos\theta + \alpha_2 V_2^2/2g \quad (2)$$

Donde:

H₁ y H₂, en kg-m/kg, son las energías, por unidad de peso, en las secciones (S₁) y (S₂) con respecto al plano de referencia.

Z₁ y Z₂ en kg-m/kg, son las energías potenciales de posición en las secciones (S₁) y (S₂) con respecto al plano de referencia.

Y₁ cosθ y Y₂ cosθ, en kg-m/kg, son las energías de presión, por unidad de peso, ejercidas por los tirantes de agua en las secciones (S₁) y (S₂).

θ es el ángulo que forma la línea del fondo del canal con la horizontal, ésta última es paralela al plano de referencia.

α₁ V₁²/2g y α₂ V₂²/2g son las energías cinéticas del flujo, por unidad de peso, ejercidas por las velocidades de las líneas de corriente, en las secciones (S₁) y (S₂).

α₁ y α₂ son los coeficientes de Coriolis que tienen en cuenta las variaciones de la velocidad media, en las secciones (S₁) y (S₂), respectivamente.

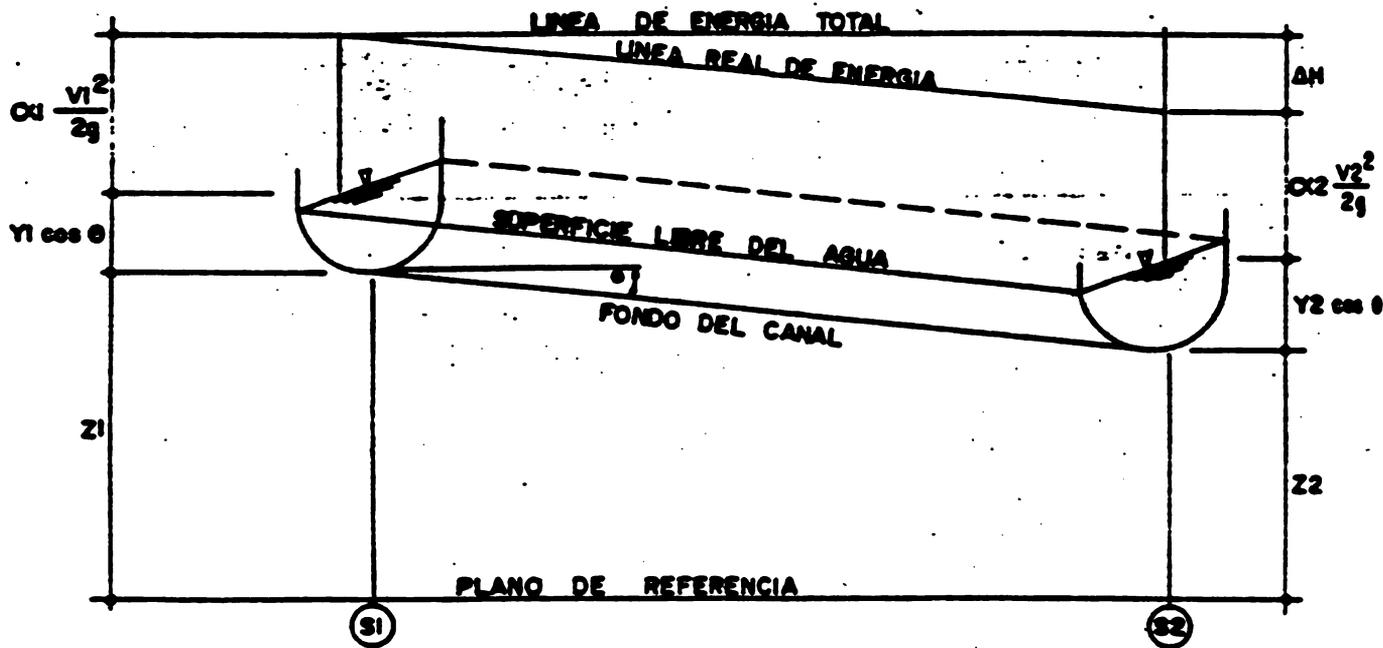


FIGURA 1 ESQUEMA DEL FLUJO DE AGUA EN CANALES

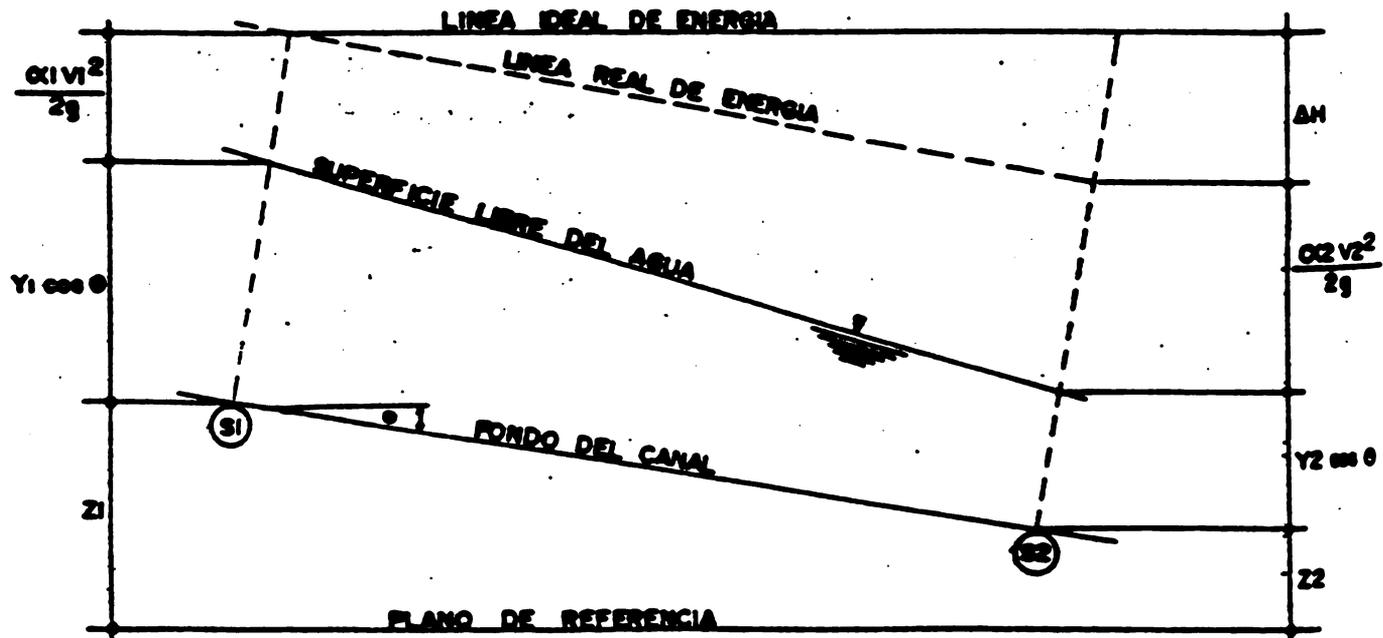


FIGURA 2 COMPONENTES DE LA ENERGIA

Cuadro 1: Valores de θ , del $\cos\theta$ y de la pendiente del canal.

θ	$\cos\theta$	$\text{sen}\theta$	$\text{sen}\theta = \text{tan}\theta = \text{pendiente de fondo del canal}$
10°	0.9848	0.1736	
5°	0.9962	0.08716	
4°	0.9970	0.06956	
3°	0.9986	0.05233	
2°	0.9993	0.03489	

Del cuadro 1. se deduce que hasta una pendiente del fondo del canal del 3% el valor de $\cos\theta$ es muy próximo a la unidad, de tal modo que:

$$Y \cos \theta = Y \quad (3)$$

La energía es puntual y se evalúa en cada sección, el flujo se realiza de un punto de mayor energía a otro de menor energía así:

si $H_1 > H_2$ habrá movimiento de la sección 1 hacia la sección 2

si $H_2 > H_1$ el movimiento se hace de la sección 2 hacia la sección 1

2.4 La energía específica.

Quando el plano de referencia pasa por el fondo del canal en la sección seleccionada, se tiene que:

$$Z = 0 ; y$$

$$H = E = Y \cos\theta + \alpha V^2/2g \quad (4)$$

E es la energía específica del flujo en la sección por unidad de peso. La energía específica depende del tirante y de la velocidad del flujo en el canal, sin embargo, éstos dos últimos elementos funcionan en sentido contrario, para un valor dado del caudal. ($Q = \text{constante}$).

De la ecuación de continuidad, se tiene:

$$Q = A V \quad (5)$$

$$A = f(Y) \quad (6)$$

Donde:

Q = caudal, en m³/s

A = area de la sección transversal del flujo en m²

V = velocidad media del flujo, en m/s.

Para un caudal constante si A crece, V decrece y viceversa. Si V crece, A decrece. Pero A es una función creciente de Y es decir, si Y crece A crece y si Y decrece A decrece, luego cuando Y crece la velocidad decrece (el flujo es lento) y si Y decrece, la velocidad crece (el flujo es rápido).

De acuerdo con estas consideraciones y lo deducido del cuadro 1. se puede escribir:

$$E = Y + \alpha V^2/2g \quad (7)$$

Reemplazando (5) y (6) en (7) se tiene:

$$E = Y + \frac{\alpha Q^2}{A^2 2g} \quad (8)$$

$$E = Y + \frac{\alpha Q^2}{2g} * \frac{1}{A^2} \quad (9)$$

Para un caudal constante, se tiene:

$$E = f(Y) \quad (10)$$

El lugar geométrico que relaciona gráficamente, la energía específica y el tirante se denomina curva de energía específica. Para una sección de un canal y un caudal dado se tiene una curva única de energía específica.

Ejemplo: Calcular y graficar la curva de energía específica en una sección rectangular de un canal que mide 0.8 m de ancho, $\alpha = 1.1$ es constante e independiente del caudal. Presentar las curvas para $Q_1 = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2 = 0.8 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_3 = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Solución:

Reemplazando los datos para cada uno de los valores del caudal, en la ecuación (9) tenemos:

Para $Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$

$$E = Y + \frac{1.1 (0.5)^2}{19.62} * \frac{1}{(0.8)^2 Y^2}$$

$$E = Y + \frac{0.0219}{Y^2} \quad (11)$$

Para $Q = 0.8 \text{ m}^3/\text{s}$

$$E = Y + \frac{1.1 (0.8)^2}{19.62} * \frac{1}{(0.8)^2 Y^2}$$

$$E = Y + \frac{0.056}{Y^2} \quad (12)$$

Para $Q = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$

$$E = Y + \frac{1.1 (1.2)^2}{19.62} * \frac{1}{(0.8)^2 Y^2}$$

$$E = Y + \frac{0.126}{Y^2} \quad (13)$$

Ejecutando las operaciones se tiene:
De la ecuación (11):

Y	0.1	0.2	0.3	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39
E	2.29	0.745	0.543	0.538	0.534	0.531	0.529	0.529	0.529	0.530	0.531	0.533

Y	0.40	0.41	0.42	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
E	0.537	0.540	0.544	0.558	0.588	0.661	0.744	0.834	0.927	1.0219	1.118

De la ecuación (12):

Y	0.1	0.2	0.3	0.4	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.55
E	5.7	1.6	0.922	0.75	0.727	0.724	0.723	0.723	0.724	0.725	0.727	0.735

Y	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
E	0.756	0.814	0.888	0.969	1.056	1.146

De la ecuación (13):

Y	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66
E	12.7	3.35	1.7	1.187	1.004	0.950	0.949	0.948	0.947	0.947	0.948	0.949

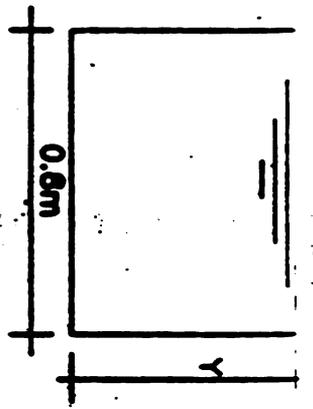
Y	0.67	0.68	0.69	0.70	0.80	0.90	1.0	1.1
E	0.950	0.952	0.954	0.957	0.997	1.056	1.126	1.204

En la figura 3. se muestra las tres curvas de energía específica correspondientes a los tres valores del caudal ($Q_1 = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_2 = 0.8 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_3 = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$). Se observa que a medida que el caudal aumenta la curva se aleja de los ejes de las coordenadas y los valores de energía específica también aumentan para un mismo valor del tirante. Físicamente los cambios de energía se producen debido a los cambios de pendiente. Cuando ésta aumenta el flujo adquiere mayor velocidad y el tirante disminuye. Si el flujo es menor que el tirante crítico al tipo de movimiento del fluido se le denomina flujo supercrítico, rápido o torrencioso, por el contrario, cuando la pendiente disminuye la velocidad del flujo disminuye y el tirante aumenta; si éste es mayor que el tirante crítico el tipo de movimiento de la corriente líquida se llama flujo subcrítico, lento o de río. Esta clasificación del flujo se hace a partir de un valor del tirante que corresponde al valor mínimo de la energía específica. A este tirante único se le ha asignado el nombre de tirante crítico. Para cualquier otro valor de la energía específica se tienen dos casos: si la energía específica E_1 se compara al valor de energía específica mínimo E_0 dos situaciones pueden presentarse:

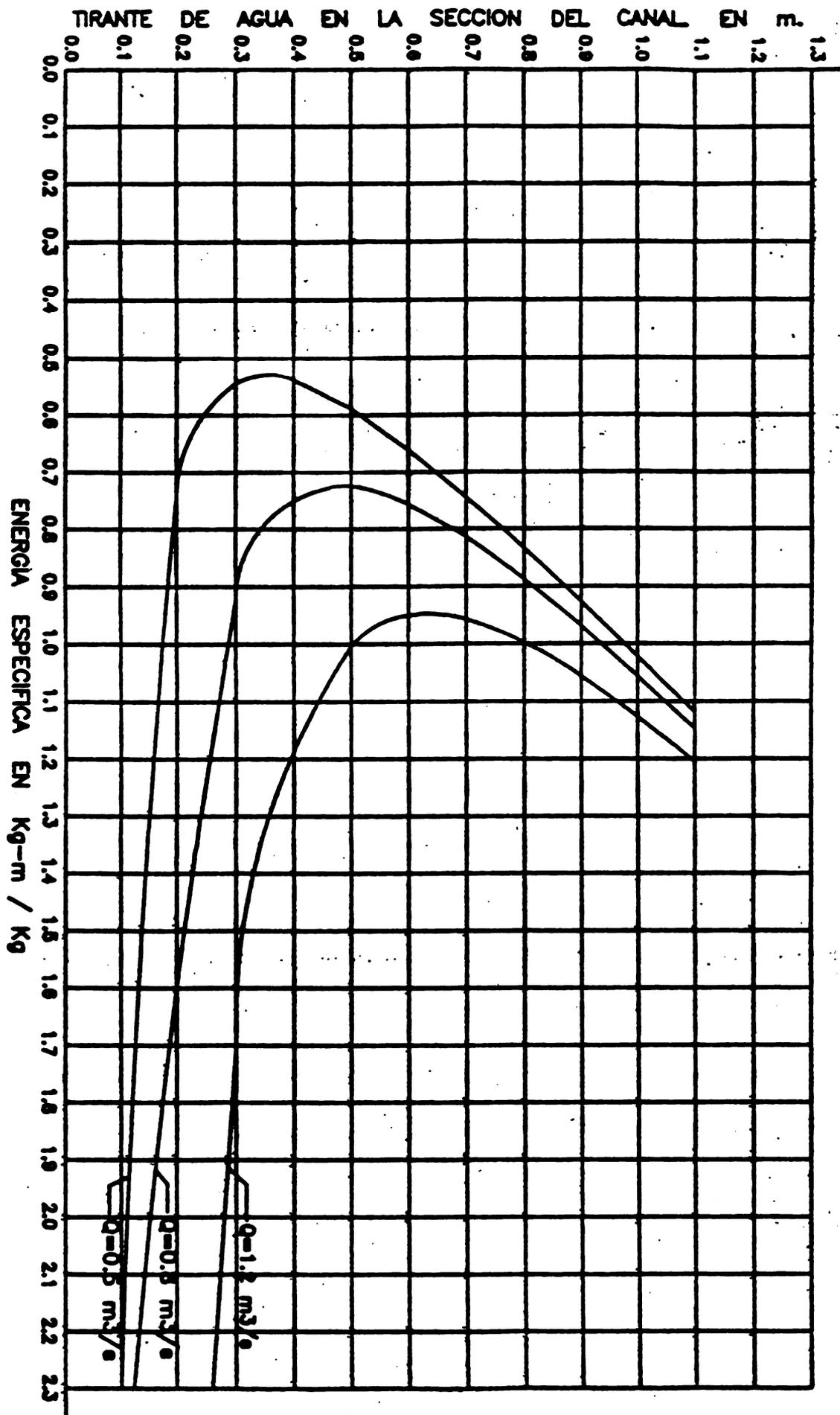
- 1- $E_1 < E_0$ no hay posibilidad de flujo, la energía no es coherente con el caudal.
- 2- $E_1 > E_0$ hay flujo. Para cada valor de energía específica hay dos tirantes. El grande $Y_1 > Y_c$ y el pequeño $Y_2 < Y_c$.

Los dos tirantes obtenidos para un mismo valor de energía específica se denominan tirantes correspondientes. Y_1 corresponde al flujo subcrítico e Y_2 al flujo supercrítico. Cuando se considera el peso del agua que fluye por las tuberías o por el canal y se relaciona con la energía específica expresada como carga hidráulica se obtiene la energía total. En el caso del agua de bombeo que llega al canal CL (Bagatzi) la energía total consumida medida en kw-hora y que es facturada para el pago por SENARA puede ser calculada a partir del caudal medido en el aforador como lo explicaremos seguidamente, lo cual nos da una idea de la eficiencia del equipo de bombeo que se está utilizando.

FIGURA 3 CURVA DE ENERGIA ESPECIFICA



Q1=0.5 m³/s
 Q2=0.8 m³/s
 Q3=1.2 m³/s



2.5 La energía total.

Para obtener la energía total debemos multiplicar la carga hidráulica ($H = z + y \cos \theta + \alpha v^2/2g$) por el peso o la fuerza del flujo. (la masa por la aceleración). La masa del flujo de agua δQ y la fuerza del flujo de agua es δgQ .

donde:

Q = caudal que fluye en m^3/s

δ = densidad del fluido para el agua $\delta = 1000$ (kg/ m^3)

luego:

$$\delta gQ = 9.81 \text{ m/s}^2 * 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} * Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 9810 Q \text{ N/s}$$

$$\delta gQ (z + y \cos \theta + \alpha v_1^2/2g) = 9810 Q H \text{ (N-m/s)}$$

La energía total que transporta el caudal por segundo está dada por:

$$9810 Q \text{ (N-m)} \quad (14)$$

La energía total por segundo es la potencia, es decir que el caudal que llega al canal tiene una potencia de:

$$9810 Q H \text{ (watts)} = 9.81 Q H \text{ (kw)} \quad (15)$$

Si la bomba funciona durante una hora con ese caudal Q y esa carga H la energía consumida será $9.81 Q H$ kw-hora. En el caso del sistema de bombeo de Bagatzi; el agua se almacena en un reservorio que se forma artificialmente en el lecho del río Piedras y luego pasa a la cámara de bombeo donde el agua está en reposo. Aquí se tiene que $V = 0$ y $\alpha V^2/2g = 0$. El nivel de referencia pasa por el plano de la superficie libre del agua. Sea H la diferencia de nivel entre el punto de descarga en el canal y la superficie libre del agua en la cámara de bombeo. Si $H = 8$ m y permanece constante durante el funcionamiento de la bomba.

Para $Q = 0.350 \text{ m}^3/\text{s}$

$$P_1 = 9.81 * 0.35 * 8 = 27.46 \text{ kw}$$

$$1 \text{ hp} = 0.736 \text{ kw}$$

luego:

$$P_1 = 36.82 \text{ hp}$$

Esa es la potencia de salida de la bomba. Si esta última tiene una eficiencia de 0.8; la potencia de llegada a la bomba será de:

$$P_1 = 27.46/0.8 = 34.325 \text{ kw}$$

Esta potencia corresponde a la potencia de salida del motor eléctrico. Si éste tiene una eficiencia de 0.95, la potencia suministrada al motor por la corriente eléctrica será de:

$$P_1 = \frac{34.325 \text{ kw}}{0.95} = 36.132 \text{ kw}$$

Una bomba funcionando 24 horas requiere 867.168 kw-hora.

Por mes de 30 días requerirá: 26015.04 kw-hora.

El costo aproximado por kw-hora es de € 7.44 lo que nos daría un costo mensual por bomba de € 193.551,89

Cuando funcionan dos (02) bombas se observa que el caudal total es inferior al doble del caudal bombeado por una sola bomba; es decir que cada bomba disminuye su caudal de bombeo lo cual puede ser originado por un descenso del nivel del agua en el reservorio formado por el río. Al aumentar la carga para una misma potencia eléctrica, el caudal debe disminuir este mismo efecto se produce cuando funcionan 3 o 4 bombas simultáneamente. Evidentemente que si el nivel del agua en el reservorio permanece constante, el caudal no debe tener variación, sin embargo, esta situación es la excepción porque no hay ningún dispositivo que asegure el control del nivel del agua.

El empleo de la energía eléctrica para el bombeo del agua del río Piedras para alimentar el canal CL (Bagatzi) es temporal, al entrar en funcionamiento la segunda etapa del proyecto de riego Arenal-Tempisque, el Canal del Oeste alimentará al Canal CL, reduciendo los costos de operación y dándole mayor estabilidad al caudal captado. Para lograr un acertado funcionamiento de toda estructura hidráulica es necesario que su diseño, cuya concepción ha tenido en cuenta los principios de la mecánica de fluidos, sea probado para verificar su comportamiento, no siendo lógico hacer este trabajo cuando la estructura se ha construido se utilizan los modelos los cuales representan estrictamente a la estructura real pero con la ventaja de que el modelo es susceptible de ser modificado a voluntad y sobre el que pueden hacerse los ensayos necesarios y repetirlos hasta encontrar la forma más adecuada de la estructura de la cual se hará el diseño respectivo, para su construcción. Esto es muy importante porque evita muchas contrariedades a causa del dimensionamiento inapropiado. Sin embargo, para realizar esta tarea hay que disponer de un laboratorio y aplicar el principio de la similitud hidráulica que exponemos a continuación:

III PRINCIPIOS BASICOS DE LA SIMILITUD HIDRAULICA.

Debido a que no siempre es posible encontrar coincidencias entre los valores teóricos y las mediciones, y que hay diferencias entre lo diseñado y lo construido, la hidráulica emplea para hacer frente a esos vacíos, los modelos físicos con los cuales es posible obtener respuestas a cada una de las modalidades de funcionamiento y poder predecir el comportamiento del prototipo o ente real. Por medio de los estudios en modelos se logra una estructura que no perturba el movimiento de las líneas de corriente de tal manera que no hay cambios bruscos y los valores reales son muy próximos a los valores teóricos y la calibración, en el caso de estructuras de medición se facilita por la estabilidad del flujo. Sin embargo si no se dispone del modelo hay que aceptar mayores márgenes de discrepancias y mayores inconvenientes en la calibración.

Para lograr transferir información del modelo al prototipo es necesario que las leyes hidráulicas que predominan en el fenómeno que se estudia sean tenidas en cuenta en los dos elementos tanto en el prototipo como en el modelo. Es decir, que entre los dos elementos haya correspondencia o similitud, ésta presenta tres (03) formas: geométrica, cinemática y dinámica.

3.1 Similitud Geométrica.

Las dimensiones del modelo físico deben guardar una relación constante con respecto a las dimensiones del prototipo, es decir, que desde este punto de vista, debe de existir un parecido entre los dos elementos. Cuando la relación es constante en todas las direcciones la similitud y en consecuencia el modelo son verdaderos; por el contrario si la relación cambia con la dirección, la similitud y también el modelo se consideran distorsionados.

Ejemplo:

$$\text{Sea } L_r \text{ (La escala)} = 1/100 = L_m/L_p$$

donde:

L_r = la escala, relación entre una dimensión del modelo (L_m) y la correspondiente al prototipo (L_p)

si: $L_r = 1/100$ significa que en las dimensiones correspondientes el modelo es 100 veces más pequeño que el prototipo.

Si la longitud de una presa es de 400 m su altura de 10 m y el tirante de agua en el río es de 6 m a la escala de 1/100 las dimensiones respectivas, del modelo son:

Para $L_p = 400 \text{ m}$ $L_m = 4 \text{ m}$

$$\begin{aligned} L_p &= 6 \text{ m} \\ L_p &= 10 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_m &= 0.06 \text{ m} \\ L_m &= 0.1 \text{ m} \end{aligned}$$

Para esta situación la altura de la presa y el tirante en el modelo de 10 y 6 cm respectivamente, no permiten hacer un buen estudio en el modelo del comportamiento del prototipo, por lo que será conveniente, cambiar la escala vertical en el modelo para lograr dimensiones convenientes donde se pueda observar con detalle los fenómenos hidráulicos que se presentan en el prototipo. Si se usa una escala vertical de 1/10 la altura de la presa será de 1 m y el tirante de 0.6 m. En esta situación se trata de un modelo distorsionado porque las escalas son diferentes según la dirección.

3.2 La similitud cinemática.

Se refiere a la correspondencia que debe existir del movimiento del fluido en el modelo y en el prototipo.

$$V_r = \frac{V_m}{V_p} ; a_r = \frac{a_m}{a_p} ; Q_r = \frac{Q_m}{Q_p}$$

donde:

V_m , a_m y Q_m son respectivamente, la velocidad, la aceleración y el caudal en el modelo.

V_p , a_p y Q_p son respectivamente, la velocidad, la aceleración y caudal en el prototipo.

V_r , a_r , Q_r , son respectivamente, escalas de velocidades, aceleración y caudal.

La similitud cinemática está en estrecha relación con la similitud geométrica. Así la velocidad, es el cociente de una distancia recorrida dividido por un tiempo.

$$V = \frac{L}{T} ; a = \frac{L}{T^2} ; Q = \frac{L^3}{T}$$

donde:

V , a y Q son respectivamente la velocidad, la aceleración y el caudal.

L es una longitud

T es un tiempo

$$V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{L_m * T_p}{T_m * L_p} = \frac{L_r}{T_r}$$

$$a_r = \frac{a_m}{a_p} = \frac{L_m * T_p^2}{T_m^2 * L_p} = \frac{L_r}{T_r^2}$$

$$Q_r = \frac{Q_m}{Q_p} = \frac{L_m^3 * T_p}{T_m * L_p^3} = \frac{L_r^3}{T_r}$$

Luego la satisfacción de la similitud cinemática depende de la similitud geométrica, ésta última es función de la dirección que se considera.

3.3 La similitud dinámica.

Está en relación con las fuerzas desarrolladas por el fluido en contacto con la estructura. Existirá similitud dinámica si las fuerzas que actúan en el prototipo se reproducen exactamente en puntos homólogos en el modelo. Las fuerzas que se manifiestan en los fenómenos hidráulicos del flujo en superficie libre son las fuerzas de inercia, gravedad, viscosidad y presión y se tiene cuidado de reducir el efecto de las fuerzas de tensión superficial.

La fuerza de inercia.

Es el producto de la masa por la aceleración.

$$F_i = m * a = \delta \text{ Vol } a = \delta L^3 L/T^2 = \delta L^4 (L^2/T^2)$$

donde:

a = aceleración del fluido

Dimensionamiento de la fuerza de inercia (F_i) se representa así:

$$F_{i,r} = \delta L^2 V^2 \quad (16)$$

δ = es la densidad del líquido.

La fuerza de gravedad: es el producto de la masa por la aceleración de la gravedad (g)

$$F_g = m * g = \rho L^3 g \quad (17)$$

donde:

g = aceleración de la gravedad.

La fuerza de la viscosidad: Es el producto de la fuerza tangencial por el área.

$$F_v = \mu V / y \cdot A = \mu V / L * L^2 = \mu V L \quad (18)$$

donde:

μ = viscosidad absoluta del fluido

La fuerza de presión: Es el producto del esfuerzo de presión por el área.

$$F_p = P * A = P L^2 \quad (19)$$

donde:

P = esfuerzo de presión

3.4 Los números adimensionales o Leyes de Similitud Hidráulica.

Cuando se divide la fuerza que actúa en un fenómeno hidráulico por la fuerza de inercia (siempre está presente), se obtiene un número adimensional el cual debe ser el mismo en el modelo y en el prototipo en puntos homólogos, cuando se cumpla la similitud dinámica. Las expresiones adimensionales, en el lenguaje hidráulico se les designa como leyes de similitud.

Número de Froude: Es la relación entre la fuerza de inercia y la fuerza de gravedad.

$$F = \frac{F_i}{F_g} = \frac{\rho L^3 v^2}{\rho L^3 g} = \frac{v^2}{L g} = \frac{v}{\sqrt{L g}} \quad (20)$$

Esta ley de similitud se manifiesta en flujos de alta velocidad que ocurren por efecto de la gravedad. Cuando el número de Froude crece la fuerza de inercia es superior a la fuerza de gravedad, al contrario cuando el número de Froude disminuye la fuerza de gravedad es superior a la fuerza de inercia. La similitud de Froude es predominante en el flujo del agua en canales a superficie libre. Cuando $F = 1$ el flujo es crítico, si $F < 1$ el flujo es subcrítico y si $F > 1$ el flujo es supercrítico.

Número de Reynolds: Se obtiene al dividir la fuerza de inercia entre la fuerza de viscosidad.

$$Re = \frac{F_i}{F_v} = \frac{\delta L^2 V^2}{\mu L V} = \frac{\delta V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu} \quad (21)$$

donde:

$$\nu = \frac{\mu}{\delta}$$

ν = viscosidad cinemática del fluido

La Ley de Similitud de Reynolds es importante en los flujos a baja velocidad donde se manifiesta la fuerza de viscosidad. Cuando el número de Reynolds es grande la fuerza de inercia es superior a la fuerza de viscosidad y cuando el número de Reynolds es pequeño, la fuerza de viscosidad es superior a la fuerza de inercia. La similitud de Reynolds es predominante en flujo en tuberías y en transiciones en conductos donde los efectos viscosos son importantes. En el caso de flujo en tuberías si $R \leq 2300$ el flujo es laminar. Si $2300 \leq R < 100000$ el flujo se denomina transicional y si $R > 10^5$ el flujo es turbulento.

Número de Euler: Se obtiene al dividir la fuerza de inercia entre la fuerza de presión.

$$E = \frac{F_i}{F_p} = \frac{\delta L^2 V^2}{\Delta p \cdot L^2} = \frac{\delta V^2}{\Delta p} = \frac{V^2}{\Delta p / \delta} = \frac{V}{\sqrt{\Delta p / \delta}}$$

Si p es la diferencia de presión (Δp) entre dos puntos se tiene:

$$\Delta p = \Delta p = \rho g \Delta h$$

$$E = \frac{F_i}{F_p} = \frac{V}{\sqrt{g \Delta h}} \quad (22)$$

Esta ley de similitud se manifiesta en aquellos fenómenos hidráulicos donde los cambios de presión son muy importantes, por ejemplo en el flujo a presión en tuberías, válvulas y compuertas, como en el caso del agua bombeada.

3.5 Ejemplos de aplicación.

Predominio de la similitud de Froude.

$$\frac{F_m}{F_p} = 1 ; F_m = F_p ; \frac{V_m}{\sqrt{g_m L_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{g_p L_p}}$$

Si los ensayos en el modelo se ejecutan a la misma altitud donde se construirá el prototipo se tiene que:

$$g_m = g_p \quad y \quad \frac{V_m}{V_p} = \sqrt{\frac{L_m}{L_p}}$$

$$V_r = L_r^{0.5}$$

Es decir, que en todo fenómeno hidráulico en que debe cumplirse el número de Froude la escala de velocidades es igual a la raíz cuadrada de la escala de longitudes. Consecuentemente, la escala de caudales se presentará así:

$$Q_r = A_r \cdot V_r = L_r^2 \cdot V_r = L_r^2 \cdot L_r^{0.5} = L_r^{2.5}$$

$$Q_r = L_r^{2.5} \quad (23)$$

Es decir, que en un fenómeno hidráulico donde debe de satisfacerse la Ley de similitud de Froude, la escala de caudales es igual a la escala de longitudes a la potencia 2.5; deberá tenerse cuidado en la dirección del flujo para usar la escala apropiada cuando se trata de un modelo distorsionado.

Predominio de la Similitud de Reynolds.

$$\frac{R_m}{R_p} = 1; R_m = R_p = \left(\frac{\delta L V}{\mu} \right)_m = \left(\frac{\delta L V}{\mu} \right)_p$$

$$\frac{\delta_m L_m V_m}{\mu_m} = \frac{\delta_p L_p V_p}{\mu_p}$$

Si se emplea el mismo fluido tanto en el modelo como en el prototipo se tiene que:

$$\delta_m = \delta_p \quad \text{y} \quad \mu_m = \mu_p$$

luego:

$$L_m V_m = L_p V_p$$

$$\frac{V_m}{V_p} = \frac{L_p}{L_m}$$

$$V_r = \frac{1}{L_r}$$

Es decir que en un fenómeno hidráulico donde predomina el número de Reynolds donde las fuerzas viscosas son importantes, la escala de velocidades es igual a la inversa de la escala de longitudes, consecuentemente la escala de caudales se expresará así:

$$Q_r = A_r V_r = L_r^2 \frac{1}{L_r} = L_r \quad (24)$$

Luego, si en el fenómeno hidráulico debe de satisfacerse la Ley de Similitud de Reynolds la escala de caudales es igual a la escala de longitudes. Como en el caso anterior debe de ponerse atención a la dirección del flujo para escoger la escala convenientemente cuando se trata de un modelo distorsionado.

Predominio de la similitud de Euler.

$$\frac{E_m}{E_p} = 1 ; \left(\frac{\delta V^2}{\rho} \right)_m = \left(\frac{\delta V^2}{\rho} \right)_p$$

$$\frac{\delta_m V_m^2}{(\rho)_m} = \frac{\delta_p V_p^2}{(\rho)_p}$$

Si el fluido es el mismo tanto en el modelo como en el prototipo, se tiene:

$$\delta_m = \delta_p$$

$$V_r^2 = (\rho)_r \quad (25)$$

Lo cual nos indica que la escala de las presiones son inversas a las escalas de velocidades. Cuando la velocidad

es muy alta (caso de bombas y turbinas) la presión es baja y esta puede ser tal que sea inferior a la presión de vapor y el fluido se vaporiza produciendo cavitación, erosionando las paredes de los conductos o de los álabes de las turbinas.

3.6 Ejemplos numéricos.

Para estudiar el comportamiento de un vertedero de excedencias se construye un modelo geoméricamente verdadero a la escala 1/100. Calcular la escala de velocidades, la de caudales y la escala de tiempos. Así mismo calcular el caudal del modelo si el caudal de la máxima avenida es de 2500 m³/s

Solución:

El fenómeno hidráulico del ejemplo obedece a la ley de similitud de Froude, luego se tiene : escala de velocidades:

$$V_r = L_r^{0.5} = \left(\frac{1}{100} \right)^{0.5} = \frac{1}{10} = 0.1$$

Escala de caudales:

$$Q_r = L_r^{2.5} = \left(\frac{1}{100} \right)^{2.5} = \left(\frac{1}{100} \right)^2 * 100^{0.5} = 1/100000$$

$$Q_r = 100000$$

$$Q_r = \frac{Q_m}{Q_p} ; Q_m = Q_r Q_p = \frac{1}{100000} * 2500 = 0.025$$

$$Q_m = 25 \text{ l/s}$$

La escala de tiempos:

$$V_r = \frac{L_r}{T_r} = L_r^{0.5} ; T_r = L_r^{0.5}$$

$$T_r = \left(\frac{1}{100} \right)^{0.5} = 1/10 = 0.1$$

$$T_m/T_p = 0.1 ; T_m = 0.1 T_p$$

Eso significa que a la escala seleccionada, la duración del fenómeno hidráulico en el modelo es un décimo de la duración del mismo fenómeno en el prototipo. Si el fenómeno de la avenida máxima dura 4 hr, en el modelo durará 0.4 hr o sea 24 minutos. La inclusión de los principios de similitud hidráulica en este documento sobre la calibración del aforador Parshall se hace con el fin de destacar que la hidráulica se apoya en los resultados de la experimentación la cual permite introducir los coeficientes de relación que llenen el vacío entre lo teórico y lo real. Sin embargo es preciso respetar los principios de la mecánica de fluidos para que la transposición de resultados tenga validez.

IV. CALIBRACION DEL AFORADOR PARSHALL EN EL CANAL CL (BAGATZI) EN FLUJO LIBRE

A 50 m aguas abajo de la estación de bombeo, en el canal CL (Bagatzi) se ha construido un aforador Parshall que para propósitos hidrométricos debe funcionar siempre en flujo libre, que la cresta o punto de cambio de pendiente no sea inundada por el flujo de aguas abajo, esto significa que la relación H_u/H_a sea menor de 0.7 para este tipo de Parshall donde H_u es la profundidad del flujo medida aguas abajo de la cresta y H_a es la profundidad aguas arriba de dicha referencia. Para esta condición la ecuación del caudal en función de la carga hidráulica medida aguas arriba de la cresta se expresará así:

$$Q = C H^x \quad (26)$$

donde:

Q = descarga en l/s

C = coeficiente de relación que incluye el ancho de la garganta.

x = exponente hidráulico

H = carga hidráulica sobre la cresta del aforador.

En la figura N^o 4 se muestra el diseño del aforador Parshall para ser construido en el canal CL (Bagatzi). Para la producción del flujo crítico, este instrumento emplea dos aspectos: primero la modificación de la sección mediante una convergencia, una sección recta (la garganta) y una divergencia. Y segundo, una modificación de la pendiente. La sección de entrada es horizontal, al inicio de la garganta hay un cambio brusco que da paso a una pendiente directa muy fuerte que en la extremidad inferior de la garganta está ligada a una pendiente adversa y luego continúa con una pendiente horizontal.

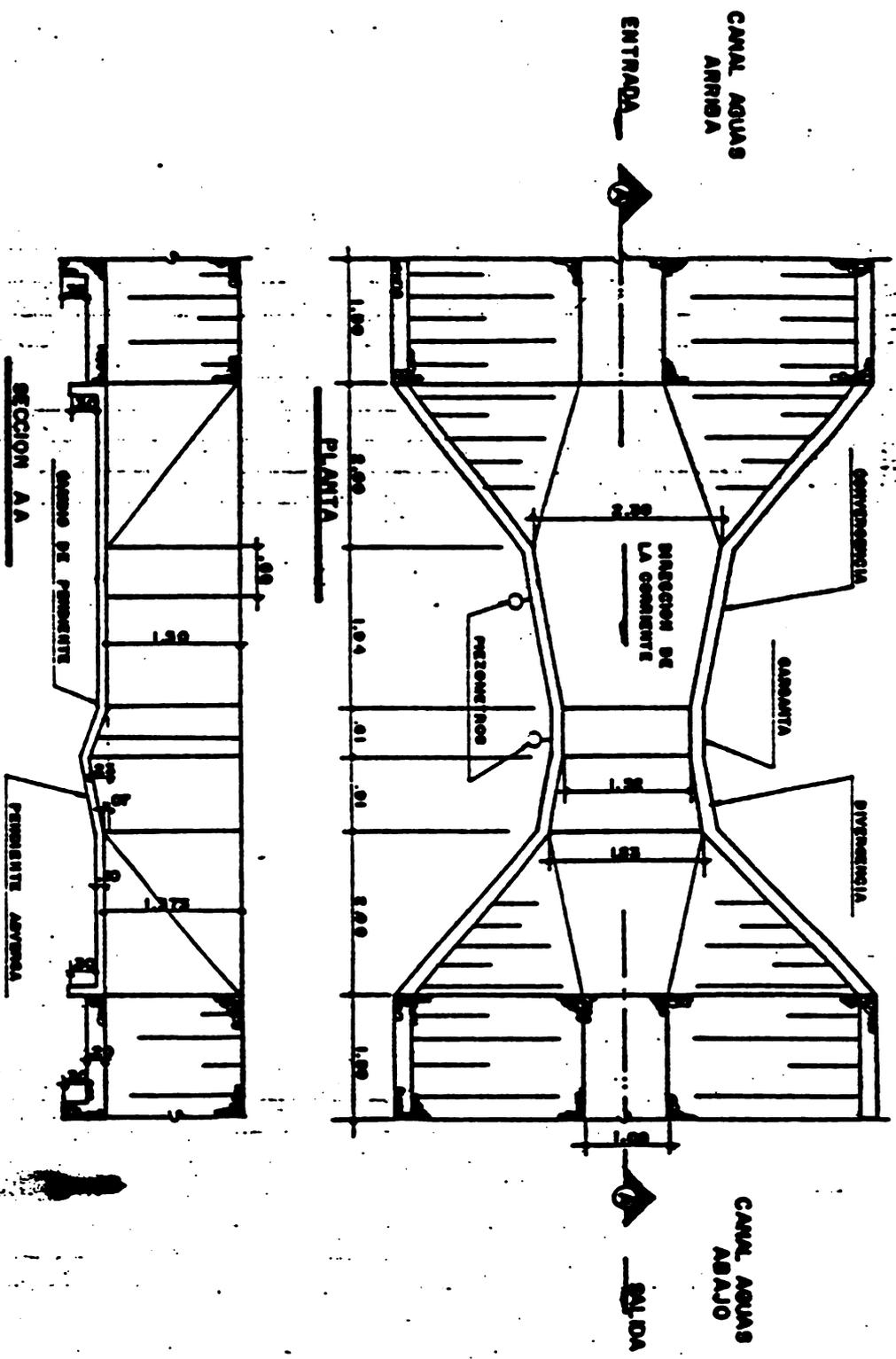
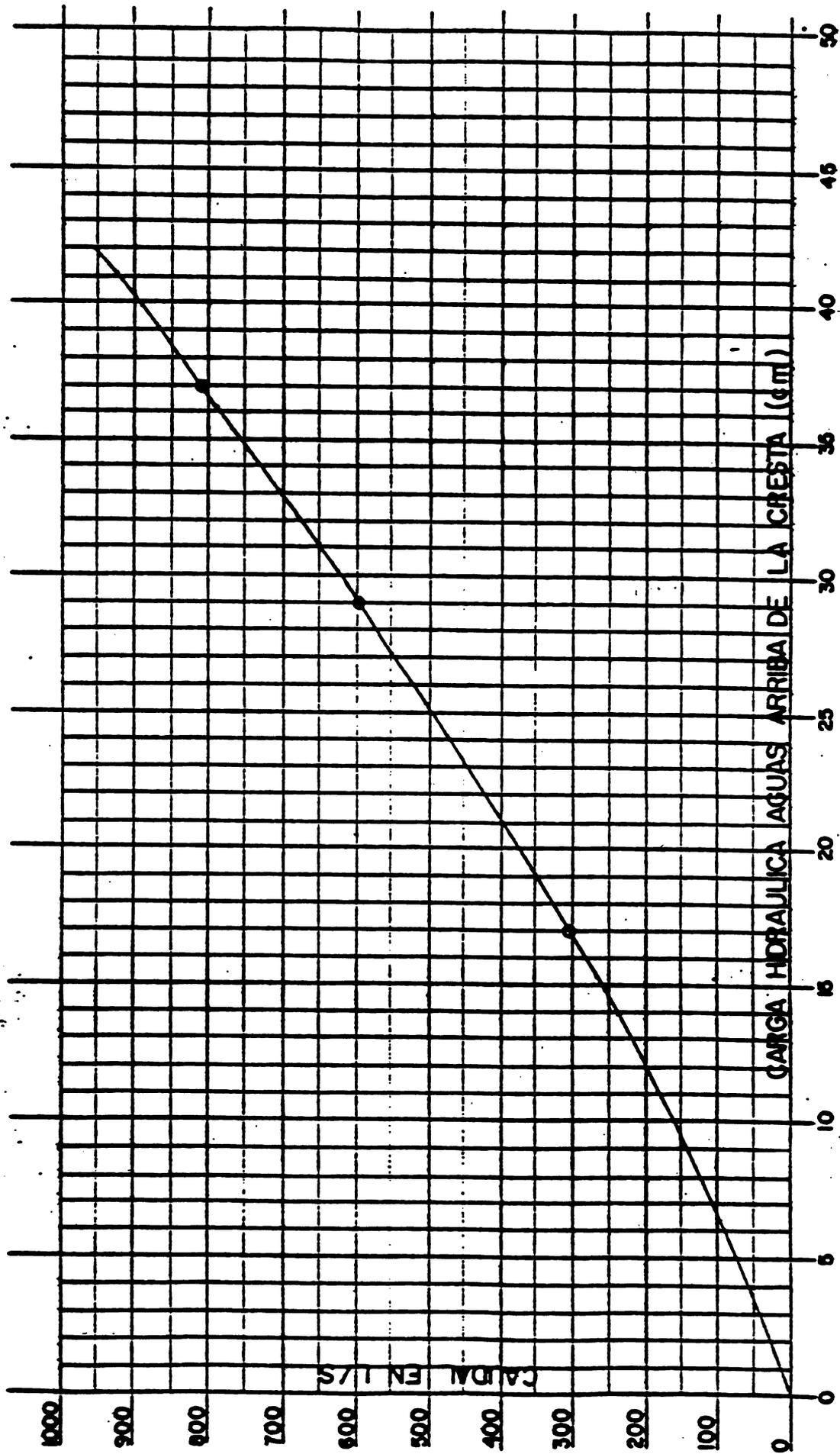


FIGURA 4
AFONADOR PARSHAL
CONSTRUIDO EN EL CANAL BAGATZI

FIGURA 5

CURVA DE VALIDACION DEL AFORADOR PARSHALL EN EL CANAL CL (BAGATZI) ANCHO DE GARGANTA 152 CM.

O VALORES OBSERVADOS



4.1 Procedimiento para la calibración.

La calibración de una estructura de medición de caudales es un imperativo previo a su utilización si se quiere disponer de resultados confiables.

Debido a las fluctuaciones del nivel del agua en la cámara de bombeo, el caudal de bombeo varía en mayor grado cuando funcionan dos (2) o más bombas, por eso se han realizado dos lecturas de la carga hidráulica, antes y después de la medición del respectivo caudal.

1. Se seleccionó la estación de medición para tener condiciones de flujo normal (uniforme y permanente) en un tramo uniforme de sección estable.

2. Se hizo funcionar una bomba y se midió tanto la carga de agua como el respectivo caudal.

3. Se hizo trabajar dos bombas y se midió la carga hidráulica así como el respectivo caudal.

4. Se hizo funcionar tres bombas y se midió la carga hidráulica y el caudal respectivo.

5. En un papel a escala aritmética se grafican los tres pares de valores.

H (cm)	17	29	37
Q (l/s)	308	596	817

6. La figura N^o 5 muestra la línea que une los puntos obtenidos. La ecuación de mejor ajuste con $r = 0.9999$ para esta curva está dada por la expresión:

$$Q = 8.8703 H^{1.2814} \quad (27)$$

donde:

Q = El caudal en flujo libre que discurre por el aforador Parshall en (l/s)

H = La carga hidráulica en (cm) medida a 2/3 de la sección convergente. El punto de referencia es la cresta de la garganta del aforador.

7. El cuadro N^o 2 presenta la tabulación de las cargas hidráulicas y de los caudales calculados a partir de la ecuación (27)

Cuadro 2. Caudales en l/s en función de la carga hidráulica en cm , para el aforador Parshall del canal CL (Bagatzí) de 1.52 m de ancho de garganta.

H (cm)	Q (l/s)	H (cm)	Q (l/s)	H (cm)	Q (l/s)
10	158	21	400	32	678
11	178	22	424	33	705
12	199	23	449	34	732
13	220	24	473	35	759
14	241	25	498	36	786
15	263	26	523	37	814
16	285	27	548	38	841
17	308	28	574	39	869
18	330	29	600	40	896
19	353	30	626	41	925
20	377	31	652	42	953

8. La ecuación (27) así como los valores indicados en el cuadro N^o 2 deben afinarse cuando se conecte el canal CL (Bagatzí) al Canal del Oeste y con mayor número de pares de datos (caudal-carga hidráulica)

9. Las circunstancias actuales nos conducen a proponer para la operación del sistema de riego Bagatzí la ecuación (27) y los valores del cuadro 2 como la mejor herramienta hidrométrica.

4.2 OBSERVACIONES

1. La hidrometría es una herramienta muy valiosa para la operación y distribución del agua de riego.

2. La instalación de limnímetros facilita la obtención de manera rápida de relaciones cuantitativas del caudal en función de la carga hidráulica.

$$Q = f(h)$$

3. La presencia del flujo crítico por las condiciones expuestas en el documento ofrece la ventaja de una relación unívoca entre el caudal y la carga hidráulica la cual es función de la geometría del canal, lo que otorga un mayor grado de precisión en la determinación del caudal que en el caso del flujo normal.

4. Para este trabajo se ha utilizado el aforador Parshall construido en la cabecera del Canal CL Bagatzi de 1.52 m de ancho de la garganta y cuyo diseño se muestra en la figura N° 4.

5. Los capítulos, que en este documento preceden al de la presentación de los resultados de la calibración tienen la finalidad de preparar al lector no especialista en la materia. Así como recordar a los responsables de la operación del Distrito de Riego Arrenal los principios en que se apoya la hidrometría y la justificación de la calibración de la estructura de medición.

6. Es verdad que el aforador Parshall crea el flujo crítico y que desde su invención ha ofrecido un gran servicio a los proyectos de riego. Su diseño y construcción son complicados debido a los cambios de pendiente. En la actualidad puede usarse el aforador sin cuello que tiene la ventaja de producir el flujo crítico sin modificaciones de la pendiente.

4.3 RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA ECUACION DE CALIBRACION DEL AFORADOR PARSHALL EN EL CANAL CL (BAGATZI).

1. Es necesario que el aforador funcione en flujo libre, para lo cual hay que verificar que el flujo que descarga aguas abajo de la cresta del aforador lo haga libremente. Para esto hay que revisar que aguas abajo del aforador los usuarios no hayan represado el caudal. Esto último es muy frecuente en la zona.

2. El flujo crítico presenta fluctuaciones por lo que la lectura de la carga hidráulica no debe hacerse instantáneamente sino durante un periodo de 3 a 5 minutos.

3. Mientras el Canal CL (Bagatzi) sea alimentado por bombeo el caudal presenta variaciones debido al incremento de la altura de bombeo; sobretodo cuando operan dos o más bombas, por lo que la lectura se hará durante un periodo de 5 a 10 minutos.

4. Deberá tenerse presente que hay una diferencia entre la capacidad de la bomba de desarrollar una cierta potencia y la potencia real desarrollada por la bomba durante el funcionamiento. De tal manera que si una bomba tiene una capacidad de bombear 350 l/s; en la realidad el caudal bombeado es menor a causa del aumento de la altura de bombeo.

5. Si el caudal de alimentación de la cámara de bombeo es menor que el caudal bombeado se producirá un incremento de la altura de bombeo debido a la disminución del nivel de agua en la cámara. Esto es muy notorio cuando funcionan dos o más bombas; observándose que al comienzo, el tubo de descarga puede estar completamente lleno pero luego de unos minutos de funcionamiento se nota un vacío. Esas son las razones por las cuales los resultados de los aforos realizados han sido con una bomba de 308 l/s en lugar de 350 l/s, con dos bombas 596 l/s en lugar de 616 l/s (doble de 308 l/s) y con tres bombas 817 l/s en lugar de 918 l/s.

6. La situación descrita en los puntos precedentes puede cambiar cuando el Canal CL Bagatzi reciba el agua del Canal del Oeste.

BIBLIOGRAFIA

- 1- SOTELO AVILA, GILBERTO. 1976 "Hidráulica General" Volumen 1 Fundamentos. Editorial Limusa. S.A. Arcos de Belén 75 México. D.F. 551 páginas.
2. CHOW VEN-TE. 1981. "Open Channel Hydraulics" 17. Edición Internacional para estudiantes. Mc Graw Hill. Kogakusha Ltd. Tokio, Japón. 680 páginas.

MEDICION DE LOS CAUDALES

La medición de los caudales en el Canal CL (Bagatzi) para la calibración del aforador Parshall se hizo empleando el método de área-velocidad, es decir se midió, por sondeo, la sección transversal del flujo o área mojada del flujo. Para esto se procedió así:

a- Se midió el ancho de la superficie libre del agua de la sección del canal, se dividió en 10 partes, por facilidad se escogió la margen derecha como origen de la medición. Ejemplo: para el primer aforo, el ancho de la superficie libre del agua en la sección transversal del canal midió 3.55 m. Luego cada sección de medición tenía un ancho de 0.35 m.

b- Se midió en las extremidades de cada sección, la profundidad del agua, a partir de la superficie libre.

c- El área parcial de cada sección se calcula estableciendo una analogía entre la figura geométrica obtenida en la medición y una figura geométrica regular. (Ejemplo: triángulo, rectángulo, trapecio.)

$$A_{\text{triang}} = \frac{b * h}{2}$$

$$A_{\text{rect}} = b * h$$

$$A_{\text{trap}} = \frac{(b_1 + b_2) * h}{2}$$

Donde b es la base y h la altura de la figura; b₁ y b₂ son las bases de una figura trapecial.

Es evidente que la sección transversal del flujo será medida con mayor precisión a medida que aumente el número de secciones de medición.

d- Para medir la velocidad se ha utilizado el molinete A-OTT con la hélice 257973 que tiene la siguiente fórmula de calibración:

$$\text{si } n < 0.36 \quad ; \quad V = 0.405 n + 0.032$$

$$\text{si } n \geq 0.36 \quad ; \quad V = 0.485 n + 0.003$$

e- La medición de la velocidad comienza con la medición de la profundidad del agua en la vertical, si ésta es mayor de 0.6 m la velocidad se mide en dos (02) puntos de la vertical a 0.2 y a 0.8 de la profundidad. Si la profundidad es igual o menor que 0.6 m. se hace una sola medida a 0.6 de la profundidad contado a partir del fondo del canal.

f- Para cada vertical se calcula la velocidad media.

g- Para cada sección se calcula la velocidad media igual a la media aritmética de las velocidades medias de cada vertical.

h- El caudal parcial que atraviesa cada sección es el producto de la velocidad media en la sección por el área de la sección.

i- El caudal total es la suma de los caudales parciales.

Debemos destacar que para alimentar la fórmula del molinete es necesario medir las revoluciones y el tiempo transcurrido. Hay que asegurarse que para un tiempo constante (60 segundos), el número de revoluciones entre dos lecturas consecutivas en un mismo punto sea similar para que haya homogeneidad en el número de revoluciones.

Los datos colectados en el campo han sido procesados con la ayuda de un programa elaborado para este fin en el Distrito de Riego Arenal y los resultados constituyen lo principal de este anexo.

1 Consultor en extensionismo en Riego y Drenaje. Convenio IICA-SENARA

2 Ingeniero Agrícola Departamento de Operación y Mantenimiento, Distrito de Riego Arenal

Cuadro 3 . Determinación del caudal para el aforo N°1

=====
 RIO: CANAL CL, BAGATZI
 ESTACION: AFORO# 1
 LUGAR: 400 M AGUAS ABAJO DE LA ESTACION DE BOMBEO
 COORDENADAS NORTE: 268400
 COORDENADAS ESTE : 397900
 AFORADOR: H.PIZARRO Y R.MURILLO
 FECHA: 16 DE JUNIO DE 1992
 MOLINETE: A-OTT 257973
 CALCULO: R.MURILLO
 =====

VERTI-	PROF	VELOCIDAD (M/S)			PROF	ANCHO	AREA	CAUDA
CAL	(M)	PUNTO	PROMEDIO	FRANJA	MEDIA	FRANJA	FRANJA	(M3/S)
			VERTICAL		FRANJA	(M)	(M2)	
1	0.10	0.000	0.000					
		0.000		0.056	0.140	0.35	0.049	0.003
2	0.18	0.000	0.111					
		0.111		0.186	0.215	0.35	0.075	0.014
3	0.25	0.000	0.262					
		0.262		0.304	0.270	0.35	0.094	0.029
4	0.29	0.000	0.347					
		0.347		0.385	0.310	0.35	0.109	0.042
5	0.33	0.000	0.423					
		0.423		0.405	0.360	0.35	0.126	0.051
6	0.39	0.000	0.387					
		0.387		0.383	0.385	0.35	0.135	0.052
7	0.38	0.000	0.379					
		0.379		0.387	0.370	0.35	0.130	0.050
8	0.36	0.000	0.395					
		0.395		0.349	0.335	0.35	0.117	0.041
9	0.31	0.000	0.302					
		0.302		0.246	0.265	0.35	0.093	0.023
10	0.22	0.000	0.189					
		0.189		0.094	0.110	0.40	0.044	0.004
11	0.00	0.000	0.000					
		0.000		0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
TOTAL							0.972	0.308

VELOCIDAD MEDIA EN LA SECCION= 0.32 M/S
 ANCHO TOTAL SUPERFICIAL DE LA SECCION = 3.55 M
 PROFUNDIDAD MEDIA DE LA SECCION= 0.27 M

Cuadro 4 . Determinación del caudal para el aforo N22

=====
 RIO: CANAL CL, BAGATZI
 ESTACION: AFORO# 2
 LUGAR: 400 M AGUAS ABAJO DE LA ESTACION DE BOMBEO
 COORDENADAS NORTE: 268400
 COORDENADAS ESTE : 397900
 AFORADOR: H. PIZARRO Y R. MURILLO
 FECHA: 16 DE JUNIO DE 1992
 MOLINETE: A-OTT 257973
 CALCULO: R. MURILLO
 =====

VERTI-	PROF	VELOCIDAD (M/S)			PROF	ANCHO	AREA	CAU
CAL	(M)	PUNTO	PROMEDIO	FRANJA	MEDIA	FRANJA	FRANJA	(M3)
			VERTICAL		FRANJA	(M)	(M2)	
					(M)			
1	0.00	3.000	0.000					
		0.000		0.100	0.145	0.40	0.058	0.20
2	0.29	0.000	0.199					
		0.199		0.291	0.335	0.40	0.134	0.33
3	0.38	0.000	0.383					
		0.383		0.421	0.405	0.40	0.162	0.68
4	0.43	0.000	0.458					
		0.458		0.497	0.460	0.40	0.184	0.89
5	0.49	0.000	0.537					
		0.537		0.512	0.515	0.40	0.206	0.18
6	0.54	0.000	0.488					
		0.488		0.492	0.525	0.40	0.210	0.18
7	0.51	0.000	0.496					
		0.496		0.474	0.490	0.40	0.196	0.81
8	0.47	0.000	0.452					
		0.452		0.393	0.425	0.40	0.170	0.86
9	0.38	0.000	0.334					
		0.334		0.205	0.275	0.40	0.110	0.87
10	0.17	0.000	0.076					
		0.076		0.038	0.090	0.14	0.013	0.01
11	0.01	0.000	0.000					
		0.000		0.000	0.000	0.00	0.000	0.01
TOTAL							1.443	0.51

VELOCIDAD MEDIA EN LA SECCION= 0.41 M/S
 ANCHO TOTAL SUPERFICIAL DE LA SECCION = 3.74 M
 PROFUNDIDAD MEDIA DE LA SECCION= 0.39 M

Cuadro 5 . Determinación del caudal para el aforo N23

=====

RIO: CANAL CL, BAGATZI
 ESTACION: AFORO# 3
 LUGAR: 400 M AGUAS ABAJO DE LA ESTACION DE BOMBEO
 COORDENADAS NORTE: 268400
 COORDENADAS ESTE : 397900
 AFORADOR: H.PIZARRO Y R.MURILLO
 FECHA: 16 DE JUNIO DE 1992
 MOLINETE: A-OTT 257973
 CALCULO: R.MURILLO

=====

VERTI-	PROF	VELOCIDAD (M/S)		PROF	ANCHO	AREA	CAUDAL
CAL	(M)	PUNTO	PROMEDIO	FRANJA	FRANJA	FRANJA	
			VERTICAL		(M)	(M2)	
1	0.00	0.000	0.000				
		0.000		0.135	0.195	0.40	0.078
2	0.39	0.000	0.270				
		0.270		0.349	0.440	0.40	0.176
3	0.49	0.000	0.427				
		0.427		0.474	0.535	0.40	0.214
4	0.58	0.000	0.520				
		0.520		0.508	0.600	0.40	0.240
5	0.62	0.415	0.496				
		0.577		0.507	0.640	0.40	0.256
6	0.66	0.448	0.518				
		0.589		0.497	0.655	0.40	0.262
7	0.65	0.415	0.476				
		0.537		0.453	0.630	0.40	0.252
8	0.61	0.355	0.423				
		0.504		0.406	0.570	0.40	0.228
9	0.53	0.000	0.383				
		0.383		0.285	0.440	0.40	0.176
10	0.35	0.000	0.187				
		0.187		0.093	0.210	0.25	0.053
11	0.07	0.000	0.000				
		0.000		0.000	0.000	0.00	0.000
TOTAL						1.935	0.917

VELOCIDAD MEDIA EN LA SECCION= 0.42 M/S
 ANCHO TOTAL SUPERFICIAL DE LA SECCION = 3.85 M
 PROFUNDIDAD MEDIA DE LA SECCION= 0.50 M

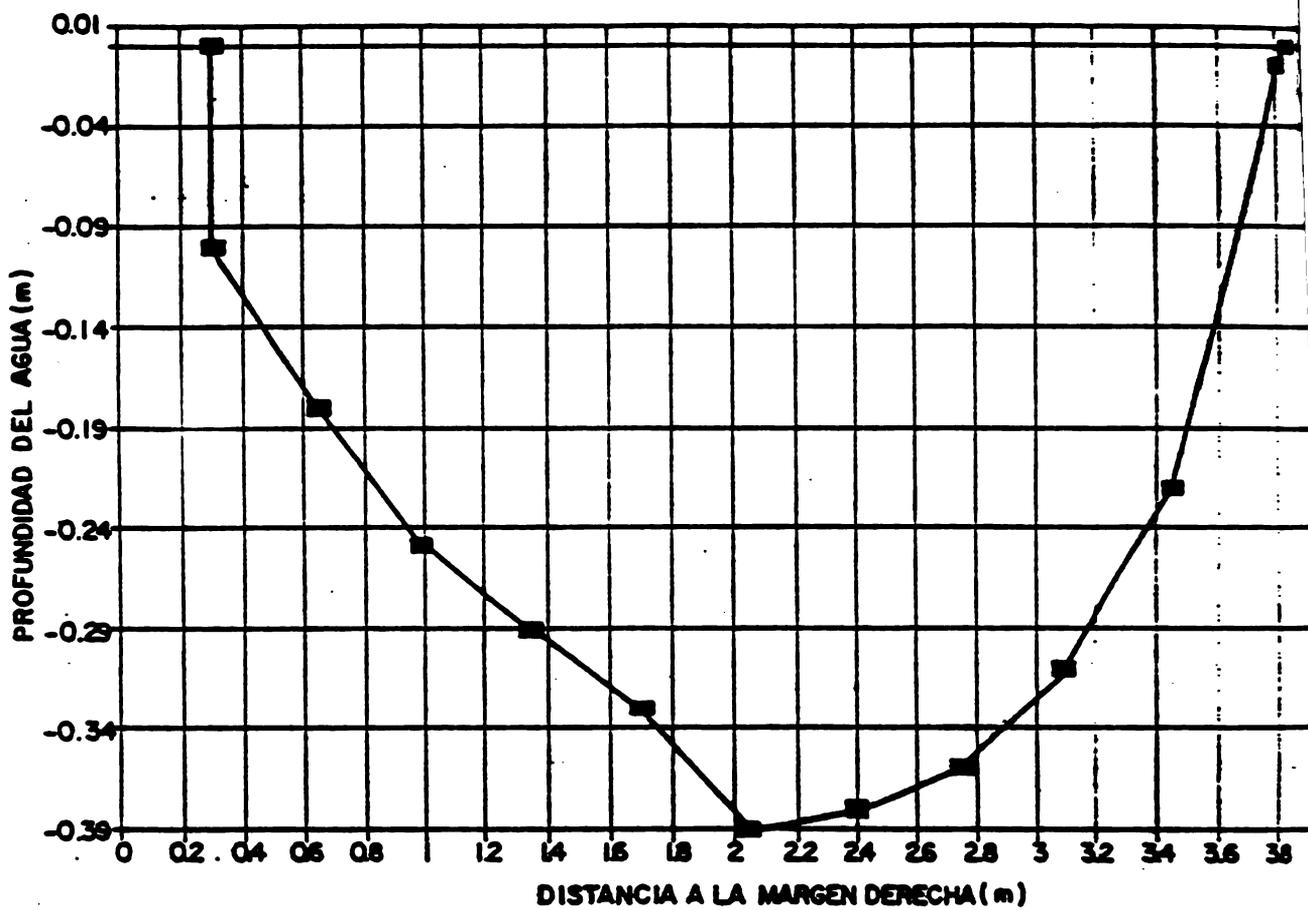


FIG. 6

SECCION TRANSVERSAL EST. DE MEDICION
CANAL CL (BAGATZI), AFORO No. 1

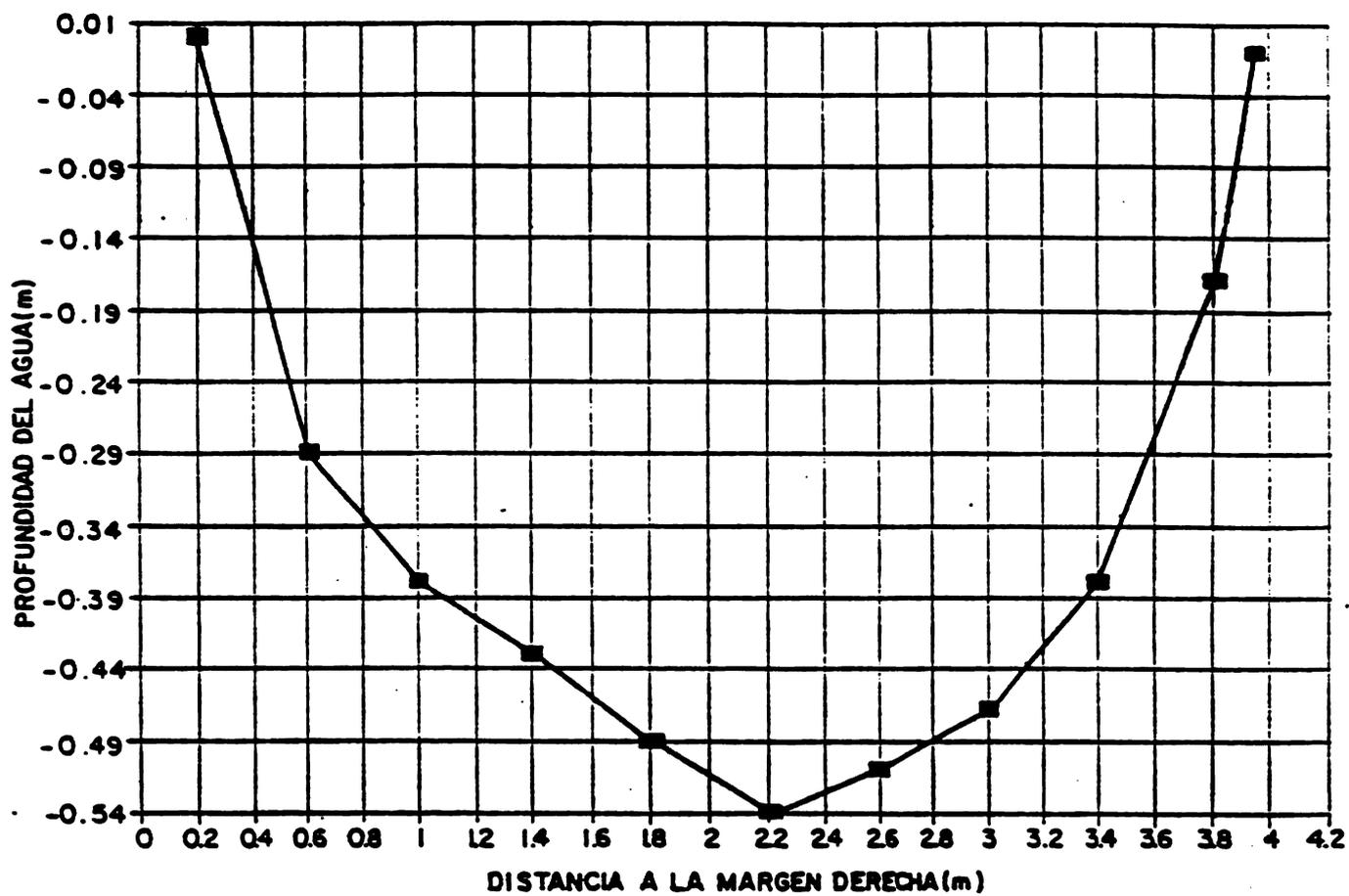


FIG. 7

SECCIÓN TRANSVERSAL EST. DE MEDICION
CANAL CL (BAGATZI), AFORO No.2

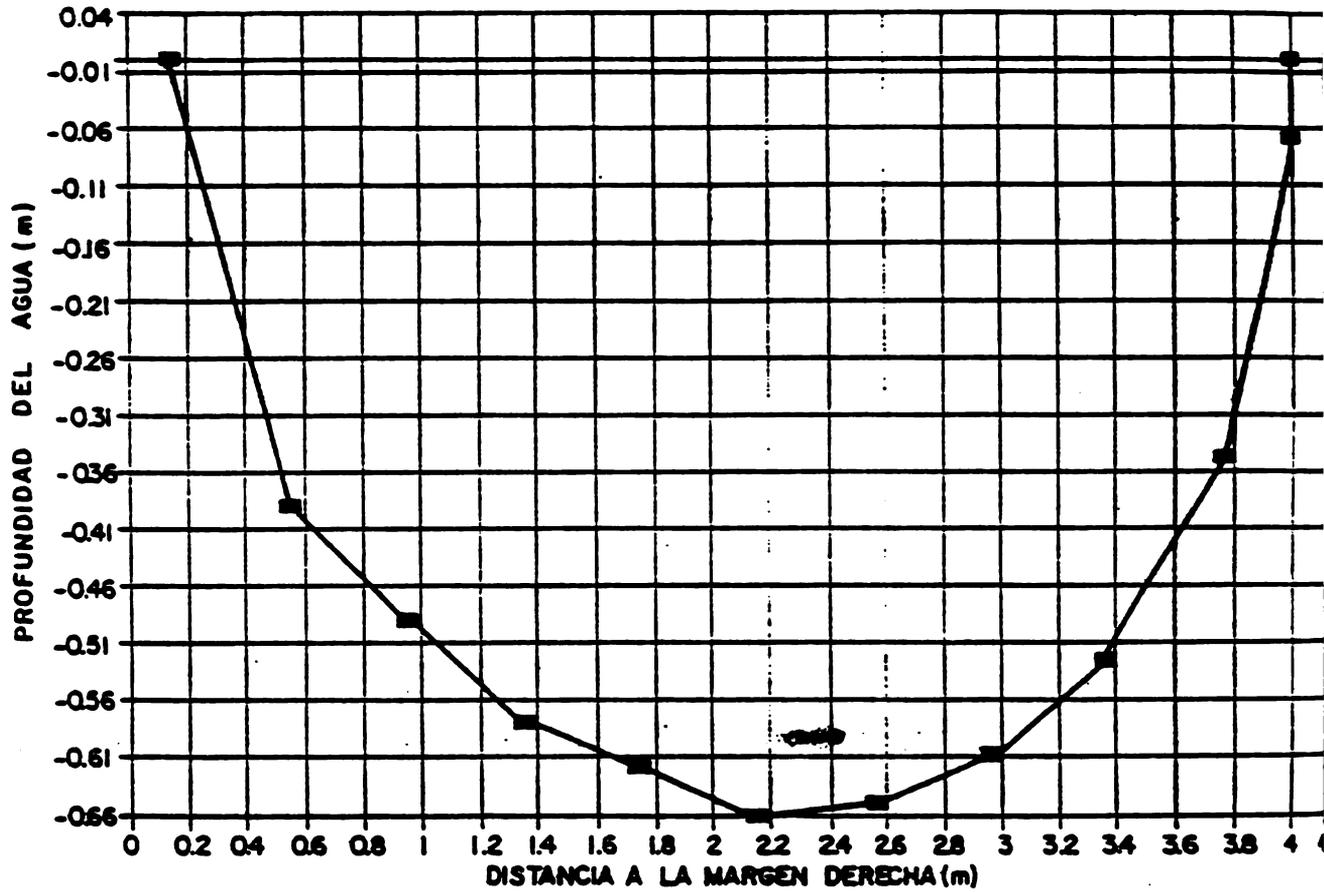


FIG. 8

CALIBRACION PARSHALL CANAL CL (BAGATZI)
SECCION TRANSVERSAL EST. DE AFORO No. 3

CONVENIO IICA-SENARA

II ETAPA DEL PROYECTO DE RIEGO ARENAL-TEMPISQUE

**EFICIENCIA DE UTILIZACION DEL AGUA DE RIEGO
EN LAS PARCELAS REGADAS POR LOS CANALES
CL-2 Y CL-3 EN BAGATZI**

Por:

**H. Pizarro
R. Murillo**

MARZO, 1993

**EFICIENCIA DE UTILIZACION DEL AGUA DE RIEGO
EN LAS PARCELAS REGADAS POR LOS CANALES
CL-2 Y CL-3 EN BAGATZI**

TABLA DE CONTENIDO

	PAGINA
I. INTRODUCCION	1
II. DEFINICION DE TERMINOS	
-Eficiencia de conducción	2
-Eficiencia de distribución	2
-Eficiencia de fincas	3
III. METODOLOGIA DE TRABAJO	3
IV. OBJETIVOS DE LA EVALUACION	6
V. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS DEL RIEGO EN LAS FINCAS REGADAS POR EL CANAL CL-2	7
VI. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS DEL RIEGO EN LAS FINCAS REGADAS POR EL CANAL CL-3	11
VII. EXPLICACION DEL USO DEL AGUA EN LA FINCA	16
VIII. LOS PRODUCTORES QUE HAN INTERVENIDO EN EL PRIMER CICLO AGRICOLA DE 1992, EN EL AREA DE BAGATZI	19
IX. LOS COSTOS DE PRODUCCION Y LOS BENEFICIARIOS DEL CULTIVO DE ARROZ EN EL AREA AGRICOLA DE BAGATZI	19
X. CONCLUSIONES	23
XI. RECOMENDACIONES	24
XII. BIBLIOGRAFIA	25

LISTA DE CUADROS

NO.		PAGINA
1.	CAUDALES EN LAS PARCELAS REGADAS POR EL CANAL CL-2 EN EL AREA AGRICOLA DE RIEGO BAGATZI (PRIMER CICLO 1992)	10
2.	CAUDALES EN LAS PARCELAS REGADAS POR EL CANAL CL-3 EN EL AREA AGRICOLA DE RIEGO BAGATZI (PRIMER CICLO 1992)	15
3.	USO DEL RIEGO EN LA PARCELA, LOTES DEL CANAL CL-2	17
4.	USO DEL AGUA DE RIEGO EN LA PARCELA LOTES DEL CANAL CL-3	18
5.	PRODUCTORES DEL AREA AGRICOLA DE BAGATZI QUE SEMBRARON ARROZ EN EL PRIMER CICLO 1992	20
6.	COSTOS, PRODUCCION Y BENEFICIOS DEL CULTIVO DE ARROZ EN BAGATZI, DISTRITO DE RIEGO ARENAL, CICLO 1992	22

LISTA DE FIGURAS

1.	PLANO GENERAL PROYECTO BAGATZI. FINCAS EMPLEADAS EN EL ESTUDIO DE EFICIENCIAS	26
----	--	-----------

EFICIENCIA DE UTILIZACION DEL AGUA DE RIEGO EN LAS PARCELAS REGADAS POR LOS CANALES CL-2 Y CL-3 EN BAGATZI

R. Humberto Pizarro C. *
Roberto Murillo V. **

I. INTRODUCCION

En el momento actual el área agrícola de Bagatzí que se siembra exclusivamente de arroz, es de 702.47 ha. y se riega con el agua que se bombea del río Piedras. Durante el primer ciclo del cultivo de arroz, de diciembre a junio (En el Distrito Arenal, se obtienen dos cosechas de arroz por año); el caudal del río disminuye y el agua se convierte en un factor limitante de la producción agrícola, tanto por reducir el área sembrada como por afectar los rendimientos. También debe resaltarse el hecho que debido al bombeo el agua de riego tiene un alto costo para el Estado Costarricense que subvenciona el suministro a los productores. Por esta razón es conveniente mejorar el uso del agua, para lograr su óptimo empleo que se traduzca en la siembra de la mayor superficie con riego adecuado y con mejores rendimientos. Durante el primer ciclo de 1992, se motivó a los usuarios para que maximizaran el uso del agua de riego, reduciendo al mínimo los caudales de drenaje y que el agua no utilizada en una parcela fuese entregada a la parcela ubicada aguas abajo. Las mediciones de los caudales en los canales nos indican los resultados altamente favorables en el manejo del agua.

Siguiendo los lineamientos enunciados, se sembraron de arroz 599.79 hectáreas o sea el 85.380% de la superficie total cultivable. Considerando las importantes limitaciones de agua que permanentemente ocurren en el primer ciclo, que ha obligado en años anteriores a una reducción del área sembrada, las cifras presentadas muestran un efecto positivo de la persuasión sobre la eficiencia del uso del agua. Los rendimientos promedios por hectárea para las parcelas evaluadas y para toda el área de Bagatzí expresados en sacos de 73.6 Kg. han sido, respectivamente, 76.88 y 74.17. Las desviaciones standards son: 13.97 sacos y 14.96 sacos y los valores máximos y mínimos son: 100.34 sacos/ha. y 42.53 sacos/ha. para el primer caso y 100.34 sacos/ha. y 23.10 sacos/ha para el segundo. Debe mencionarse que en el período de máxima demanda se ponen en operación 4 bombas cuyo caudal máximo está alrededor de 950 l/s (1.58 l/s-Ha.) inferior a 2 l/s-Ha., lo cual constituye en si una apreciable eficiencia en el uso del agua de riego.

* Consultor Convenio IICA-SENARA

** Ingeniero Agrícola, Depto. de Operación-Distrito Arenal

Es de esperar que la instalación de estructuras de control del caudal y equipo de medición contribuyan a lograr mejores resultados, tanto en el empleo del agua como en el aumento de la superficie cultivada, en los rendimientos y en la producción.

El diagnóstico que presentamos se realizó el 25-03-1992 para el CL-2 y el 27-03-1992 para el CL-3 durante el primer ciclo agrícola de 1992 (Diciembre-Junio) en el área de Bagatzí, seleccionando las parcelas regadas por los canales secundarios CL-2 y CL-3.

II. DEFINICION DE TERMINOS

En este documento se hace referencia a algunos conceptos que estimamos conveniente incluir para facilitar su comprensión.

Eficiencia de conducción (e_c): Es la relación entre el caudal que llega a los canales de distribución (secundarios) y la que recibe el canal principal de la fuente de abastecimiento. Ejemplo: si del agua bombeada del río Piedras en la estación Bagatzí, el canal principal recibe 945 l/s y en la zona próxima a los canales secundarios se mide 888 l/s, la eficiencia de conducción e_c será de:

$$e_c = \frac{888}{945} \times 100 = 94\%$$

Eficiencia de distribución e_d : Es la relación entre el caudal que recibe el canal secundario y la que éste entrega a las parcelas que domina:

$$e_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{q_s} \times 100$$

Donde:

e_d = Eficiencia de distribución de los caudales a las parcelas.

C_i = Caudal recibido por la parcela i , puesta a disposición del productor.

q_s = Caudal recibido por el canal secundario que domina las parcelas a las que distribuye el agua de riego.

Ejemplo: si $q_s = 230$ l/s y $\sum_{i=1}^n C_i = 211.2$

la eficiencia de distribución $e_d = 91.8\%$

Eficiencia de Fincas: Es la relación entre el caudal retenido en los límites de la finca y el caudal suministrado por el servicio de operación del Distrito. Depende del manejo que el regante haga del caudal puesto a su disposición para obtener su mayor aprovechamiento. Su valor disminuye cuando hay evacuaciones a los drenes o filtraciones laterales.

Ejemplo: La parcela 58 recibe un 18 l/s y deja salir 3 l/s lateralmente y 2.57 l/s por la red de drenaje, la eficiencia de la finca será de:

$$e_f = \frac{12.43}{18} \times 100 = 69.06\%$$

Estos conceptos dinámicos pueden expresarse de manera conjunta en una eficiencia general (e_g) como el producto de las tres eficiencias citadas y que son útiles en la operación del sistema de riego:

$$e_g = e_o * e_{dp} * e_f$$

En el caso del cultivo de arroz, una parte del caudal debe contribuir a constituir una lámina de mantenimiento para darle al cultivo el ambiente de saturación que requiere y que desde el punto de vista de fisiología del cultivo puede reducirse a 10 cm.

III. METODOLOGIA DE TRABAJO

La medición de los elementos que conducen a expresar cuantitativamente la eficiencia puede hacerse en función de la duración del intervalo de tiempo.

- A. El intervalo de tiempo corto y las mediciones son casi instantáneas, es el aspecto dinámico de la eficiencia; se emplean los caudales como elementos de cuantificación.
- B. El intervalo de tiempo es relativamente largo (un mes o el período vegetativo del cultivo), es el aspecto estático de la eficiencia; se emplean los volúmenes como elementos de cuantificación.

En este trabajo, como una primera aproximación de la evaluación de la eficiencia, nos hemos encaminado por la medición en el corto intervalo de duración, es decir por el aspecto dinámico.

Para determinar la eficiencia de conducción del canal principal en tierra se seleccionaron dos secciones de aforo separadas entre sí 5 km.: la primera se encuentra a 200 metros de la estación de bombeo y la segunda a 200 m. aguas arriba de la derivación del primer canal secundario.

En la primera se ha calibrado un aforador Parshall y en la segunda se mide el caudal empleando el mismo molinete que se usó para calibrar el Parshall. El caudal que conduce el canal principal depende del funcionamiento del número de bombas. Con una bomba hay en el canal alrededor de 0.300 m³/s, con dos bombas 550 m³/s, con tres bombas 0.800 m³/s y con cuatro bombas 0.950 m³/s. Los valores son aproximados porque el caudal depende de la potencia de la bomba y de la altura de bombeo.

Para cada número de bombas en funcionamiento se miden los dos caudales Q₁ y Q₂. La eficiencia de conducción se calcula así.

$$e_c = \frac{Q_2}{Q_1} \times 100$$

El valor utilizado de este tipo de eficiencia es el promedio de los valores encontrados. Debemos enfatizar que en este trabajo nos interesamos a la pérdida del caudal que experimenta el transporte del agua para el riego.

La eficiencia de distribución es la que experimenta el sistema a nivel de cada canal secundario al entregar los caudales a los usuarios. Para esto se mide el caudal a la entrada tanto de cada secundario (CL-2 y CL-3) como de cada finca, para lo cual se emplea el dispositivo conveniente: molinete, micromolinete, flotador, creacción del flujo crítico, medición de volumen y tiempo, el fin es poder medir el caudal.

La eficiencia de distribución se expresa así:

$$e_d = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{q_s} \times 100$$

Donde:

edp = Eficiencia de distribución, en porcentaje

q_i = Caudal que recibe el usuario i en l/s

q_e = Caudal que recibe el canal secundario que riega la finca del usuario i.

En cada canal secundario del ensayo, se identificó las parcelas servidas, se midió los caudales recibidos por cada usuario y se aplicó la expresión para el cálculo de la eficiencia de distribución.

La eficiencia de retención de agua en la finca e_r, es la que logra el productor dentro de los límites de su propiedad regable. La finca recibe y entrega caudales. Entre los que recibe consideramos las provenientes del canal secundario y de las parcelas vecinas. Entre las que entrega nos referimos a los caudales que se evacuan por el dren y las que pasan a las parcelas vecinas.

Esta eficiencia mide el grado de preocupación del productor por utilizar el agua que recibe dentro de su finca, porque cualquiera de las formas de evacuación es escorrentía superficial que lleva consigo suelo erosionado y fertilizantes en solución, produciendo un daño múltiple. La eficiencia de retención en la finca se calcula con la expresión:

$$e_r = \frac{q_i + \sum \epsilon_i - \sum S_i}{q_i + \sum \epsilon_i} \times 100$$

Donde:

e_r = Eficiencia de retención en la finca, i en porcentaje

q_i = Caudal que recibe la finca i del canal secundario.

∑ ε_i = Suma de los caudales de entrada de las fincas vecinas, que recibe la finca i.

∑ S_i = Suma de los caudales de salida de la finca i hacia las propiedades vecinas y hacia el dren.

La eficiencia global (e_g) es el producto de las eficiencias consideradas precedentemente:

$$e_g = e_c * e_{ch} * e_f$$

Este valor nos permite saber cuál es el caudal que recibirá la finca, cuando se conoce el caudal a la entrada del canal principal.

Para la realización del trabajo que presentamos se aforó el canal principal Bagatzí en dos estaciones de medición, las primeras aguas arriba muy próxima a la estación de bombeo, y la segunda aguas abajo, cerca a la compuerta que alimenta al canal CL-2. También se midieron los caudales en los canales CL-2 y CL-3. Enseguida se determinaron las descargas de agua en las entradas a cada parcela, luego se recorrieron los perímetros de cada parcela para evaluar tanto los caudales de salida de la parcela (hacia los drenes y hacia las parcelas vecinas de aguas abajo), así como los de entrada a partir de la parcela de agua arriba. Los caudales en el canal principal, en los secundarios y en algunas tomas de entrada fueron medidos con un molinete A.OTT.

En otros casos cuando el caudal es muy pequeño, éste se concentra en una tubería y se mide el volumen de agua y el tiempo necesario para recepcionarlo, lo cual nos da el caudal.

En los cuadros 1 y 2 se indican los valores obtenidos, para cada parcela, a los caudales se ha agregado como complemento el nombre del usuario, el área sembrada en el ciclo y los rendimientos en Kg por Ha. y en sacos de 73.6 Kg./Ha., con el fin de ofrecer la información necesaria para planificar la asistencia técnica en riego en la zona.

IV. OBJETIVOS DE LA EVALUACION

- 1. Realizar una evaluación cuantitativa del uso del agua en el área de Bagatzí, donde se cultiva el arroz bajo riego.**
- 2. Obtener los elementos de base para planificar un estudio detallado de la eficiencia del uso del agua de riego en Bagatzí.**
- 3. Apreciar las pérdidas de conducción de los caudales en los canales secundarios y en el principal construidos en tierra.**
- 4. Evaluar la eficiencia del uso del agua en las fincas regadas por los canales CL-2 y CL-3.**

5. Disponer de los rendimientos del cultivo de arroz de las fincas para relacionarlos con el uso del agua de riego.
6. Interpretar el impacto de la eficiencia del uso del agua de riego en los rendimientos y el área total cultivada.
7. Evaluar la disponibilidad en la infraestructura para controlar y medir el agua de riego.

V. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS DEL RIEGO EN LAS FINCAS REGADAS POR EL CANAL CL-2

A partir de lo presentado en el cuadro 1, se deduce que la eficiencia de retención en la parcela es como sigue:

Parcela 37: Eficiencia = $9/14 \times 100 = 62.28\%$ Bajo aprovechamiento del agua. Debe de mejorarse la captación para reducir las entregas de caudales a las parcelas de aguas abajo, sin embargo cuando haya necesidad de evacuar un exceso de agua almacenada en la parcela debe preferirse su utilización en la parcela aguas abajo, antes de arrojarla al dren donde no tendría utilización.

Parcela 38: Eficiencia = $(14/15) \times 100 = 93.33\%$ buena utilización del agua de riego. Hay necesidad de controlar la captación para reducir los caudales de entrada cuando se tienen ingresos lateralmente. Se trabajará en evitar las entradas laterales y en el paso del agua a las parcelas de aguas abajo cerrando los boquetes.

Parcela 39: Eficiencia = $(10/10) \times 100 = 100\%$ Buena utilización del agua en la parcela.

Parcela 40: Eficiente = $(15/15) \times 100 = 100\%$ Buena utilización del agua en la parcela.

Parcela 41: Eficiencia = $(8.97/9) \times 100 = 99.67\%$ mínima pérdida al dren.

Parcela 42: Eficiencia = $(14.60/15) \times 100 = 97.33\%$, buena utilización del agua de riego, hay que reducir a cero la salida de agua al drenaje; porque es una agua que no se reutiliza y que más bien crea problemas de capacidad de los drenes.

Parcela 43: Eficiencia = $(10/10) \times 100 = 100\%$ Buena retención del agua en la parcela.

Parcela 44: Eficiencia = $(14/14) \times 100 = 100\%$ Buena retención del agua en la parcela.

Parcela 45: Eficiencia $(13.90/14.55) \times 100 = 95.53\%$.

Es conveniente cerrar los drenes y reducir a cero las pérdidas por drenaje.

Parcela 46: Eficiencia $= (22.14/22.30) \times 100 = 99.28\%$ Míminas pérdidas por drenaje, debe mejorar para reducir las a cero. Un control en la captación disminuirá las pérdidas. Hay que controlar la lámina de mantenimiento, el caudal de entrada parece ser grande.

Parcela 47: Eficiencia $= (17.36/17.90) \times 100 = 96.98\%$.

El riego en la parcela es eficiente, pero puede mejorarse evitando las pequeñas pérdidas por el paso del caudal tanto a las parcelas vecinas como a los drenes. Debe de controlarse la entrada de agua a la parcela, así como la lámina de mantenimiento.

Parcela 48: Eficiencia $= (10.6/10.7) \times 100 = 99.06\%$ la parcela se maneja con buena eficiencia pero debe reducirse las pérdidas por drenaje y de flujo lateral, que son desde el punto de vista de la parcela, irrecuperables. Se requiere un control tanto a nivel de la entrada del agua como de la lámina de mantenimiento.

Parcela 49: Eficiencia $= (23.77/24) \times 100 = 99.04\%$.

La parcela aprovecha bien el agua de riego, debe de trabajarse en la lámina de mantenimiento para reducir la percolación.

Parcela 15: Eficiencia $= (13.50/13.50) \times 100 = 100\%$.

El riego en la parcela es eficiente, toda el agua que se capta se acupa.

Parcela 16: Eficiencia $= (13.7/13.8) \times 100 = 99.27\%$.

El riego en la parcela es eficiente, se pierde una pequeña cantidad que debe de eliminarse posteriormente con el control de las entradas y de las salidas por los drenes.

La eficiencia de retención del agua en la finca del área regada por el canal CL-2:

$$\text{ERAF} = (212.25 + 6.5 - 6.5 - 1.81) / (212.25 + 6.5) \times 100$$

La eficiencia de conducción en el canal principal para las diferentes mediciones es como sigue:

$$\frac{501}{568} \times 100 = 88\%$$

$$\frac{998}{1028} \times 100 = 97\%$$

$$\frac{888}{945} \times 100 = 94\%$$

Promedio 93%

El caudal que discurre por el canal CL depende del número de bombas que estén funcionando en un momento dado, así como de la disponibilidad de agua en la poza de bombeo. El mayor caudal se logra cuando funcionan 4 bombas. El valor promedio de la eficiencia de conducción es de 93%.

De los datos consignados en el cuadro 1 y si el caudal medido en la cabecera del canal es de 237 l/s, la eficiencia de distribución del agua de riego a la parcela será:

$$e_{dp} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{q_e} \times 100 = \frac{212.25}{237} \times 100 = 89.56\%$$

Donde:

e_{dp} = Eficiencia de distribución del agua a la parcela, en %

$\sum_{i=1}^n C_i$ = Suma de los caudales distribuidos en l/s, en las parcelas i.

q_e = Caudal de entrada al canal.

La eficiencia global en las parcelas regadas por el canal CL-2 es de:

$$e_g = e_c * e_{dp} * e_i = 0.93 * 0.8956 * 0.9962 = 0.8012$$

$$e_g = 80.12\%$$

CUADRO 1

CAUDALES EN LAS PARCELAS REGADAS POR EL CANAL CL-2 EN EL AREA AGRICOLA DE RIEGO BAGATZI (PRIMER CICLO 1992)

PRODUCTOR	No. DE PARCELA	AREA DE LA PARCELA-Ha.	CAUDAL DE ENTRADA l/s	CAUDAL LA-TOTAL DE ENTRADA (QLS) l/s	CAUDAL LA-TOTAL DE SALIDA (QLS)	CAUDAL DE DRENAJE l/s	RENDIMIENTO Kg/Ha.	RENDIMIENTO SACOS 73.6 Kg/Ha.
Rogelio Gutiérrez	37	10.05	14.00		5		4391.71	59.67
Nestor Salazar	38	9.25	10.00	5	1		7161.28	97.30
Francisco Lacayo	39	9.30	9.00	1			4896.61	66.53
Eladio Duarte	40	9.71	15.00				5542.82	75.31
Omar Badilla	41	10.00	9.00			0.03	6210.37	84.38
Francisco Chávez	42	10.00	15.00			0.40	5796.00	78.75
Alexander Pérez	43	10.00	10.00				5912.29	80.33
Jesús Aguilar	44	10.00	14.00				4140.00	56.25
Edgar Murillo	45	10.00	14.55			0.65	3726.37	50.63
Edgardo Aragón	46	10.00	22.30			0.16	6624.00	90.00
Gerónimo González	47	10.00	17.90		0.5	0.14	6624.00	90.00
Antonio Meza	48	10.00	10.20	0.5		0.10	5382.37	73.13
Alfonso Zamora	49	9.79	24.00			0.23	5796.00	78.75
Luis soto	15	9.53	13.50				5213.09	70.83
Oscar Castillo	16	10.36	13.80			0.10	4795.04	65.15
TOTAL		147.99	212.25		6.5	1.81		

En este conjunto de parcelas se pierde directamente por falta de control de los productores 8.31 l/s, que se deberían emplear en regar mayor área disponible. El rendimiento expresado en sacos por Ha. que equilibra los costes de producción es de 60,5. Se aprecia que los rendimientos son, en su mayoría, atractivos. Los responsables de la asistencia técnica deberán analizar las causas de los rendimientos inferiores al nivel de equilibrio.

VI. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS DEL RIEGO EN LAS FINCAS REGADAS POR EL CANAL CL-3

De los datos presentados en el cuadro 2, los valores de eficiencia de retención del agua en la parcela son:

Parcela 50: Eficiencia = $(2.24/5.1) \times 100 = 43.92\%$ Baja eficiencia de uso del agua en la parcela.

El caudal de salida es mayor que el caudal de entrada, la parcela está drenando, el usuario deja circular el caudal de entrada, una parte del cual se pierde en el dren.

Hay una mala utilización del agua de riego que debe evitarse y por lo tanto, corregirse para mejorar la eficiencia y proteger el bien común. Deberá tenerse en cuenta la escasez del recurso hídrico y los efectos perjudiciales de la escorrentía superficial del agua de riego en la conservación de los recursos de la producción agrícola. El agua de riego debe manejarse cuidadosamente. El caudal de entrada es muy pequeño para ser eficaz.

Parcela 51: Eficiencia = $(26/26) \times 100 = 100\%$ Buena retención del agua en la parcela.

La parcela recibe 5 l/s de aportes adicionales a los 21 l/s captados directamente, lo que equivale a un caudal de 2.6 l/s. Ha. que para las limitaciones del recurso hídrico podría ser desproporcionado y estar contribuyendo mayormente a las pérdidas por percolación. Aunque todo el caudal se queda en la finca, el control y la medición de los caudales de entrada deben regular los consumos de agua por parte del productor.

Parcela 52: Eficiencia = $(30/30) \times 100 = 100\%$ Buena retención del agua en la parcela.

No se encuentra aportes ni salidas adicionales a la captación directa que se presenta desproporcionada en relación con la disponibilidad del recurso, 30 l/s para 9.53 ha., o sea 3.14 l/s-ha. equivalente a un volumen de 271.296 M3/día-ha. que sólo se justifica en épocas de urgencia de humedad por parte del cultivo y durante tiempos cortos de aplicación. En otras ocasiones esto significaría un mal uso del agua, puesto que la evapotranspiración del arroz se estima en 84 M3/día-ha. y en tal caso las pérdidas por infiltración serían de 187.296 M3/día-ha.

Parcela 53: Eficiencia = $(12.94/13) \times 100 = 100\%$ Buena retención del agua por la parcela.

El caudal es retenido en la finca, una mínima pérdida por drenaje superficial, el caudal de entrada es adecuado para su buen manejo.

Parcela 54: Eficiencia = $(31/31) \times 100 = 100\%$ Buena retención del agua.

El caudal es retenido en la finca pero el valor de 31 l/s es desproporcionado para las disponibilidades. Es equivalente a un caudal unitario de 3.29 l/s-ha. o sea un volumen de 284.256 M3/día-ha. que para una evapotranspiración de 84 M3/día-ha. produce un volumen no aprovechado de 200.256 M3/día-ha. Hay necesidad de controlar los caudales de captación directa para un uso racional del recurso hídrico.

Parcela 55: Eficiencia = $(19/19) \times 100 = 100\%$ Buena retención del agua.

El agua que se capta para la finca es retenida dentro de sus límites, la cual debe satisfacer las exigencias de la evapotranspiración y el resto infiltrarse. De lo recibido 19 l/s o sea 164/60 M3/día-ha., se consumen en la evapotranspiración 84 M3/día-ha. y la diferencia se pierde. El caudal captado es moderado y por los rendimientos obtenidos puede suponerse un buen manejo de la agricultura de regadío.

Parcela 56: La eficiencia de retención superficial es de $12.6/13.1 \times 100 = 96\%$ la cual es buena; sin embargo, la supervisión del manejo del agua de riego debe evitar las salidas innecesarias.

El caudal recibido es adecuado. Sus rendimientos son buenos, puede deducirse un buen uso del recurso hídrico.

Parcela 57: Eficiencia = $(18.3/18.5) \times 100 = 98.92\%$.

La parcela recibe un caudal adicional de 0.5 l/s a su captación directa de 18 l/s y pierde 0.2 l/s por la red de drenaje, lo cual equivale a una retención de 158.112 M3/día-ha. que para una evapotranspiración de 84 M3/día-ha. produce una pérdida de 74.112 M3/día-ha. Deben eliminarse las evacuaciones de drenaje mediante la supervisión del manejo del agua. El caudal de entrada es moderado. Su rendimiento es alto, lo que supone un buen uso de los recursos hídricos.

Parcela 58: Esta parcela está perdiendo 5.57 l/s lo que indica una eficiencia de retención de caudal de $(12.43/18) \times 100 = 69.06\%$ que representa un desperdicio importante. Teniendo en cuenta los esfuerzos que se realizan para hacer disponible el agua de riego, su costo de operación o lo limitante que es para la producción agrícola, se sugiere supervisar cuidadosamente el manejo del agua en la finca para evitar las salidas innecesarias, sobre todo las de drenaje que impiden el aprovechamiento del recurso hídrico.

Es imperativo que se instalen estructuras de control y de medición y se impidan las fugas a los drenes y a las parcelas vecinas, para aprovechar racionalmente el agua disponible.

Parcela 59: A los 21 l/s de la captación directa se une la recepción de 3 l/s provenientes de la parcela vecina, pero pierde 0.14 l/s por el drenaje. La retención de 23.84 l/s nos indica una eficiencia de $(23.84/24) \times 100 = 99.33\%$ El caudal unitario que da a la parcela es de 2.384 l/s-ha. o sea 205.977 M3/día-ha., lo que representa un no aprovechamiento por las plantas de 121.977 M3/día-ha. y que se encamina a hacer subir la capa freática.

Parcela 60: Recibe un caudal adecuado de 15 l/s pierde lateralmente 0.2 l/s, lo que indica una eficiencia de retención de $(14.8/15) \times 100 = 98.67\%$. Deberían reducirse las pérdidas laterales.

Parcela 61: Eficiencia = $(7.2/7.2) \times 100 = 100\%$.

Su caudal de entrada es pequeño: 7 l/s, a lo que se agrega el caudal de 0.2 l/s que proviene de la parcela vecina. El pequeño caudal dificulta el reparto del agua en el campo. La supervisión en el manejo del agua de riego ayudará a hacer un mejor uso del recurso hídrico.

En general, de lo observado se constata que hay una valoración del agua para hacer agricultura de regadío, siendo conveniente capacitar a los usuarios en las destrezas para manejar el aprovechamiento del agua de riego en favor de los cultivos. Paralelamente debe de motivarse el uso racional y mancomunado del agua.

De acuerdo con las mediciones efectuadas y presentadas en el cuadro 2, la eficiencia de utilización del agua a nivel de la finca es de:

$$e_1 = (211.2 - 5.21) / (211.2 + 8.7) \times 100 =$$

$$e_1 = \frac{205.99}{219.9} \times 100 = 93.6\%$$

y la eficiencia de distribución (91.8%) y utilización en la finca para el canal CL-3, es de:

$$93.6 \times 91.8 = 85.92\%$$

que para una eficiencia de conducción de 93% nos presenta un aprovechamiento del agua para la agricultura de regadío de:

$$85.92 \times 93 = 79.91\%$$

Es decir, que la eficiencia global desde la captación hasta la distribución a la parcela es de 80%. De cada 800 l/s que se bombean del río Piedras, se emplean en la parcela solamente 640 l/s y se pierden 160 l/s. Debemos resaltar que dada la complejidad de la adecuación parcelaria, la falta de estructuras adecuadas para el control de los caudales, los valores de eficiencia encontrados son satisfactorios, pero debe mejorarse para un mayor aprovechamiento del agua.

Con el propósito de que el servicio de operación del Distrito Arenal tenga los elementos que le ayuden a cumplir su rol en la distribución del agua de riego para que ésta realice su misión social, de ser empleada racionalmente para la producción agrícola, sin deterioro de los recursos agua-suelo, se ha esbozado la situación puntual que ofrecen dos grupos de fincas del área Bagatzí. El fin es destacar los puntos sobre los cuales debe enfatizarse el programa de manejo del agua de riego en la finca.

A pesar de que los productores de arroz en Bagatzí poseen áreas agrícolas muy similares de los mismos tipos de suelo, los caudales que reciben son muy variados. Eso es un reflejo de las diferentes necesidades hídricas de los usuarios, de la carencia de dispositivos de medición de los caudales y de la operación del riego que se hace a la demanda. Es de destacar que caudales de 5 a 7 l/s son muy pequeños para el riego por melgas, lo cual lo hace ineficiente.

Debe de señalarse que los caudales que se presenten en los cuadros 1 y 2 aunque puntuales funcionan así por varios días, la abertura de la compuerta de entrada de agua a la finca se realiza a pedido del usuario.

La preocupación del trabajo se ha centrado en la retención del agua en la finca. No se ha tenido en cuenta la irregularidad de la lámina de agua sobre la superficie ni la desuniformidad de la humedad en el perfil del suelo, que son otros aspectos que deben incluirse en la eficiencia del uso del agua en la agricultura de regadío.

CUADRO 2

CAUDALES EN LAS PARCELAS REGADAS POR EL CANAL CL-3 EN EL AREA AGRICOLA DE RIEGO DE BAGATZI (PRIMER CICLO 1992)

CONDUCTOR	NO. DE PARCELA	AREA DE LA PARCELA-Ha.	CAUDAL DE ENTRADA l/s	CAUDAL LATERAL DE ENTRADA l/s	CAUDAL LATERAL DE SALIDA l/s	CAUDAL DE DRENAJE l/s	RENDIMIENTO Kg/Ha.	RENDIMIENTO SACOS/HA DE 73/6 Kg.
Alberto González	50	9.91	5.10		5.00	2.24	3333.15	42.57
Manón González	51	9.98	21.00	5.00			4803.87	65.27
Carlos Herra	52	9.53	30.00				7385.02	100.34
Ernan Villalobos	53	9.41	13.00			0.06	7039.10	95.64
Isaac Gutiérrez	54	9.42	31.00				5713.57	77.63
Lionar Rojas	55	9.45	19.00				6571.74	89.23
Elix Arias	56	10.00	13.10		0.50		5796.00	78.75
Aracelino Sequeira	57	10.00	10.00	0.50		0.20	6210.37	84.38
Alfonso Ruiz	58	10.00	10.00		3.00	2.57	5796.00	78.75
Gerardo Montoya	59	10.00	21.00	3.00		0.14	6210.37	84.38
Alfonso Castro	60	10.00	15.00		0.20		5796.00	78.75
Ernesto Meza	61	10.48	7.00	0.20			6111.00	83.03
TOTAL		118.04	211.20	8.7	5.21			

El Caudal que se ha medido en la cabecera del canal CL-3 es de 230 l/s. La eficiencia de distribución del agua a la finca es de:

$$dp = (211.2/230) \times 100 = 91.8\%$$

En conjunto las parcelas regadas por el canal CL-3 desaprovechan 13.91% l/s lo cual debe ser preocupante para los responsables de la operación de la distribución del agua de riego y también para los productores de secano que desde hace mucho tiempo están pidiendo una dotación de agua para poder sembrar sus tierras.

VII. EXPLICACION DEL USO DEL AGUA EN LA FINCA

El agua que llega a la parcela es el insumo más importante de todas aquellas que se emplean en la producción agrícola, es el que determina que la actividad agrícola sea un éxito o una decepción para la empresa. Por eso los Gobiernos se empeñan en construir los sistemas de riego para asegurar la presencia del agua; sin embargo, se descuida su utilización óptima y en general la eficiencia es muy baja, desperdiciándose una fuerte cantidad de agua que daña la calidad productiva de los recursos de la producción (el suelo y el agua), lo cual crea problemas de erosión lavando la capa fértil del suelo y originando condiciones de mal drenaje por la subida del nivel del manto freático, situación que atenta contra el desarrollo sostenible al deteriorar la capacidad productiva de los suelos.

En los dos cuadros 3 y 4 que siguen, se presenta una posibilidad del camino que puede darse al agua retenida en la parcela. Se observa que la percolación se lleva una parte considerable del agua aplicada, sin beneficios, porque el agua en el suelo se desplaza continuamente de las zonas de mayor humedad a las de menor humedad y que el suelo no es un reservorio hermético de capacidad infinita, por lo que la cantidad de agua que se aplique debe controlarse, ya que el reducir el consumo innecesario de agua tiene múltiples ventajas, tanto en el ahorro del agua en sí, lo cual permitirá ampliar el área regada, como en la disminución de los costos de su uso. La evapotranspiración es la cantidad de agua que las plantas requieren para su actividad biológica y que por lo tanto es imprescindible para la actividad agrícola.

Hay que resaltar que en el cultivo de arroz es necesario tener una lámina de agua, la cual si bien es cierto que ofrece las condiciones ambientales deseadas para el desarrollo del cultivo, también favorece la infiltración, la cual puede tomar valores altos de 0.8 a 2 cm/día-ha. que salen fuera de la finca, pero que pueden aflorar aguas abajo o alimentar el acuífero. Los valores de infiltración básica (en condiciones de inundación) realizadas con cilindros infiltrómetros en Bagatzí varían entre 0.8 a 2 cm. en 24 horas, lo que equivale a caudales entre 0.925 l/s-ha. y 2.315 l/s-ha. valores importantes que deben motivarnos a encaminar nuestros esfuerzos a lograr su reducción.

CUADRO 3
USO DEL AGUA DE RIEGO EN LA PARCELA, LOTES DEL
CANAL CL-2

CONDUCTOR	No. DE PARCELA	AREA HA.	CAUDAL ENPLEADO EN LA PARCELA l/s	CAUDAL POR Ha. l/s-Ha.	VOLUMEN POR DIA M3/día-Ha.	VOLUMEN CONSUMIDO POR EVAPOTRANSPIRACION m3/Día-Ha. (1)	VOLUMEN PERDIDO PERCOLACION M3/Día-Ha.
Agelio Gutiérrez	37	10.05	19.00	1.90	164.16	83.95	80.21
Estor Salazar	38	9.25	14.00	1.51	130.46	83.95	46,514.00
Francisco Lacayo	39	9.30	10.00	1.08	92,800	83.95	8.93
Radio Duarte	40	9.71	15.00	1.54	132.44	83.95	40.05
Mar Badilla	41	10.00	8.97	0.90	77.40	83.95	--
Francisco Chávez	42	10.00	14.60	1.46	125.56	83.95	41.05
Alexander Pérez	43	10.00	10.00	1.00	86.40	83.95	2.45
José Aguilar	44	10.00	14.00	1.40	120.40	83.95	36.45
Agar Murillo	45	10.00	13.90	1.39	119.54	83.95	35.59
Agardo Aragón	46	10.00	22.14	2.21	190.40	83.95	106.45
Próximo González	47	10.00	17.26	1.73	148.43	83.95	64.40
Antonio Meza	48	10.00	10.60	1.06	91.58	83.95	7.63
Alfonso Zamora	49	9.79	23.77	2.43	208.98	83.95	125.03
Alis Soto	15	9.53	13.50	1.42	121.78	83.95	37.83
Agar Castillo	16	10.36	13.70	1.32	113.69	83.95	29.74

(1) Considerando que la evapotranspiración en el mes de marzo es de 8.395 mm/día.
 Evapotranspiración potencial calculada para la zona por el método de Penman Modificado es de 226.5 mm. para marzo sea 7.306 mm. por día. El coeficiente de uso consuntivo para el arroz para el mismo mes 1.15.

CUADRO 4

USO DEL AGUA DE RIEGO EN LA PARCELA
 LOTES DEL CANAL CL-3

PRODUCTOR	No. DE PARCELA	AREA HA.	CAUDAL EN-PLERADO EN LA PARCELA l/s	CAUDAL POR Ha. l/s-Ha.	VOLUMEN POR DIA m ³ /día-Ha.	VOLUMEN CONSUMIDO POR EVAPOTRANSPIRACION m ³ /Día/Ha.(1)	VOLUMEN PERDIDO PERCOLACION m ³ /Día-Ha.
Gilberto González	50	9.91	-2.14	--	--	--	
Ramón González	51	9.48	24.00	2.53	218.592	83.950	134.642
Carlos Herra	52	9.53	30.00	3.15	270.90	83.950	186.95
German Villalobos	53	9.41	12.94	1.38	118.68	83.950	34.73
Ilmo Gutiérrez	54	9.42	31.00	3.29	282.94	83.950	198.99
Elionar Rojas	55	9.45	19.00	2.01	172.86	83.950	88.91
Félix Arias	56	10.00	12.60	1.26	108.36	83.950	24.41
Marcelino Sequeira	57	10.00	18.30	1.83	158.112	83.950	74.162
Dolores Ruiz	58	10.00	12.43	1.24	106.64	83.950	22.69
Gerardo Montoya	59	10.00	23.86	2.38	205.632	83.950	121.682
Javier Castro	60	10.00	14.80	1.48	127.28	83.950	43.33
Fernán Meza	61	10.48	7.20	0.68	58.752	83.950	--

(1) Considerando que la evapotranspiración en el mes de marzo es de 8.395mm./día.
 La evapotranspiración potencial calculada para la zona por el método de Penman modificado es de 226.5 mm. para marzo o sea 7.306 mm/día. El coeficiente de uso consuntivo para el arroz, para el mismo mes es 1.15.

VIII. LOS PRODUCTORES QUE HAN INTERVENIDO EN EL PRIMER CICLO AGRICOLA DE 1992, EN EL AREA DE BAGATZI

En el Cuadro 5 se presenta la relación de productores, sus áreas agrícolas sembradas, sus producciones en sacos de 46 Kg. (datos colectados por el Instituto de Desarrollo Agrario -IDA) a partir de los cuales se ha calculado los rendimientos en Kg/ha. y en sacos de 73.6 kg. El promedio de la productividad a nivel de área fue de 74.11 sacos y el promedio en las áreas regadas con el agua de los canales CL-2 y CL-3 donde se realizó el diagnóstico fue de 76,88 sacos, de lo cual se puede deducir que toda el área se trabaja de manera similar.

Los valores muy bajos de producción se deben a accidentes que escapan al control del productor.

Las variaciones de la productividad pueden deberse a la diferencia en la adecuación parcelaria, en los componentes tecnológicos empleados por los productores en la calidad de los suelos, en el manejo del agua y a la imposibilidad de recoger toda la cosecha.

El servicio de asistencia técnica deberá encaminar sus esfuerzos por dotar a los productores de las tecnologías de mayor productividad en uso en el área, en el momento actual, para su difusión, a fin de homogenizar los rendimientos y aportar bienestar a los productores de menores beneficios.

Se ha presentado la relación de los rendimientos por un lado para observar sus variaciones, para servir de comparación con los productores de otras áreas del Distrito para que los que obtienen bajos rendimientos sean objeto de un análisis y también para conocer los beneficios que otorga actualmente el cultivo de arroz bajo riego. En los próximos estudios que se llevarán a cabo se tratará de evaluar la eficiencia de aplicación del agua a la parcela, así como la uniformidad de la lámina de mantenimiento, con el fin de relacionar la eficiencia en el uso del agua y los rendimientos.

IX. LOS COSTOS DE PRODUCCION Y LOS BENEFICIARIOS DEL CULTIVO DE ARROZ EN EL AREA AGRICOLA DE BAGATZI

A partir de los datos de costos de producción proporcionados por dos productores del área que conjuntamente administran 20 hectáreas, hemos elaborado el cuadro 6, donde se indica que el costo de producción (puede tomarse como representativo) es de \$158.948.03/ha., incluyendo los gastos del agua y los de administración de la finca.

CUADRO 5

PRODUCTORES DEL AREA AGRICOLA DE BAGATZI QUE SEMBRARON
ARROZ EN EL PRIMER CICLO DE 1992

PROPIETARIO	NO. DE PARCELA	AREA HA.	PRODUCCION SACOS 46 kg.	PRODUCCION SACOS 73.6 Kg. 2% -13% *	RENDIMIENTO SACOS 73.6 Kg./Ha.	OBSERVACIONES
Rogelio Gutiérrez	37	10.37	1100	618.75	59.67	
Néstor Salazar	38	9.25	1600	900.00	97.30	
Francisco Lacayo	39	9.30	1100	618.75	66.53	
Eladio Duarte	40	9.71	1300	731.25	75.31	
Omar Badilla	41	10.00	1500	843.75	84.38	
Francisco Chávez	42	10.00	1400	787.50	78.75	
Alexander Pérez	43	10.00	1428	803.25	80.33	
Jesús Aguilar	44	10.00	1000	562.50	56.25	
Edgar Murillo	45	10.00	900	506.25	50.63	
Edgardo Aragón	46	10.00	1600	900.00	90.00	
Gerónimo González	47	10.00	1600	900.00	90.00	
Antonio Neza	48	10.00	1300	731.25	73.13	
Alfonso Zamora	49	9.79	1400	787.50	80.44	
Gilberto González	50	9.91	750	421.88	42.57	
Ramón González	51	9.48	1100	618.75	65.27	
Carlos Herra	52	9.53	1700	956.25	100.34	
Germán Villalobos	53	9.41	1600	900.00	95.64	
Ilmo Gutiérrez	54	9.42	1300	731.25	77.63	
Elionar Rojas	55	9.45	1500	843.75	89.29	
Félix Arias	56	10.00	1400	787.50	78.75	
Marcelino Sequeira	57	10.00	1500	843.75	84.38	
Dolores Ruiz	58	10.00	1400	787.50	78.75	
Gerardo Montoya	59	10.00	1500	843.75	84.38	
Javier Castro	60	10.00	1400	787.50	78.75	
Fernán Neza	61	10.84	1600	900.00	83.03	
Celestino Picado Alvarado	62-A	9.85	1500	843.75	85.66	
Luis Rodríguez Pacheco	63	9.98	1400	787.50	79.55	
Paulina García Cortés	64	9.96	1500	843.75	84.71	
Niguel A. Pason Alvarez	65	9.86	1400	787.50	79.87	
Telenaco Chávez González	67	9.89	1000	562.50	56.88	
Aléxis Blanco	68	9.82	1400	787.50	80.19	
Luis A. González Castro	69	9.96	1600	900.00	90.36	
Harvin Vega Nuñez	70	9.87	1600	900.00	91.18	
Ramón Hernández Artavia	71	9.70	1300	731.25	75.39	
Jorge Acón Hernández	72	9.63	900	506.25	52.57	
Gerardo Salazar Alvarado	73	10.60	1600	900.00	84.90	
Juan Jiménez Pérez	74	10.00	1400	787.50	78.75	

* 2% de impurezas, 13% de humedad.

CUADRO 5 (CONTINUACION)

PROPIETARIO	NO. DE PARCELA	AREA HA.	PRODUCCION SACOS 46 kg.	PRODUCCION SACOS		RENDIMIENTO SACOS 73.6 Kg./Ha.	OBSERVACIONES
				73.6 Kg. 2%	13%		
Julgencio Ordoñez Jiménez	75	9.39	760	427.50		45.53	
Manuel Young Ruiz	74a	10.00	1200	675.00		67.50	
David Luna Leal	76	10.00	1500	843.75		84.38	
José A. Hidalgo Alvarez	77	10.00	1600	900.00		90.00	
Élix Espinoza Jiménez	78	10.00	1400	787.50		78.75	
Carlos Medrano Gutiérrez	79	10.00	1400	787.50		78.75	
David Alpizar Murillo	80	10.20	1500	843.75		82.72	
Carlos Martínez Calvo	81	10.00	1500	843.75		84.38	
Agoberto Montero Ulate	82	10.00	1200	675.00		67.50	
Juan M. González María	85	12.89	1600	900.00		69.82	
José J. Boniche Rodríguez	88	9.45	1400	787.50		83.33	
Heriberto Montero Rojas	89	9.64	1400	787.50		81.69	
Armando Flores Porras	91	9.74	400	225.00		23.10	
Luis Alberto Salazar Duarte	92	9.76	1200	675.00		69.16	
Emar Alpizar Espinoza	98	10.00	1100	618.75		61.88	
Pedro Ayub Molina	100	10.00	1000	562.50		56.25	
Guillermo Aragón Solera	101	8.50	1100	618.75		72.79	
Lacarias Aguirre Centeno	102	10.00	800	450.00		45.00	
Berardo Aragón Medina	108	9.45	1300	731.25		77.38	
Jorge T. Sotela Sotela	110	9.89	1200	675.00		68.25	
Isabel Garay Reyes	111	8.27	700	393.75		47.61	
Luis Angel Rojas M.	112	10.00	1300	731.25		73.13	
Luis Soto Cerdas	15	9.53	1200	675.00		70.83	
Oscar Castillo	16	10.36	1200	675.00		65.15	

* 2% de impurezas y 13% de humedad.

CUADRO 6
COSTOS PRODUCCION Y BENEFICIOS DEL CULTIVO DE ARROZ EN
BAGATZI, DISTRITO DE RIEGO ARENAL
CICLO I, 1992 (PARA 20 Ha.)

1. PREPARACION		260,000.00
Roturación 1	45,000.00	
Roturación 2	35,000.00	
Fangueo 1	40,000.00	
Fangueo 2 (2da. y 3ra. pasada)	140,000.00	
2. RIEGO		74,000.00
Tarifa de agua \$2.520/Ha-ciclo	50,400.00	
Reparación de tomas	17,000.00	
Cuadrícula y paso de agua	6,600.00	
3. ADQUISICION DE BIENES Y SERVICIOS VARIOS		53,555.75
4. MANO DE OBRA		225,702.00
Labores en el cultivo de arroz	169,700.00	
Siembra y Abono	27,375.00	
Aplicación de abono y chapia	5,560.00	
Aplicación de abono	20,737.00	
Mezcla de abono	750.00	
Chapia del Canal principal	1,500.00	
5. GASTOS PROFESIONALES Y DE ADMINISTRACION DE LA FINCA DE 20 Ha. SEMBRADAS DE ARROZ		537,401.10
6. INSUMOS		1,025,854.00
Semilla	390,000.00	
Agroquímicos, Fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, etc.	635,854.00	
7. APLICACION DE AGROQUINICOS		36,000.00
8. GASTOS DE TRANSPORTE		218,119.85
Transporte del arroz	150,884.85	
Transporte de insumos	27,235.00	
Transporte de personal	40,000.00	
9. GASTOS FINANCIEROS		260,288.45
Intereses	224,142.95	
Formalización	36,145.50	
10. CORTA DEL ARROZ		488,040.00
COSTO TOTAL POR 20 Ha.		3,178,960.50
COSTO POR Ha.		158,948.03
RENDIMIENTO PROMEDIO/Ha (Sacos de 73.6Kg. 2XInp.y 13XHumedad)		76.88
INGRESO POR HA. (\$2.807/saco)		200426.16
BENEFICIO PROMEDIO POR Ha.		41,478.13
BENEFICIO POR 10 Ha.		414,781.30
BENEFICIO POR FAMILIA POR MRS QUE POSSE 10 Ha.		69,130.22

Se obtiene un ingreso de $76.88 \times \text{¢}2607/\text{sacos}^{(1)} = \text{¢}200.426,16/\text{Ha}$ y un beneficio neto, por la gestión de la agricultura de regadío del cultivo de arroz de $\text{¢}41.478.13$, el cual si se extiende a 10 hectáreas será de $\text{¢}414.781.30$, que repartido en el período de 6 meses que dura el cultivo da un ingreso mensual de $\text{¢}69.130,22$.

A pesar de que el tema principal es el diagnóstico de la eficiencia, éste concepto tiene que analizarse dentro del contexto económico y de la sostenibilidad. Hay un interés por asegurar la permanencia de la actividad agrícola de regadío, pero económicamente atractiva, poniéndose énfasis en la reducción de los costos y en el aumento de los rendimientos, aspecto en el que el agua de riego debe desempeñar un rol muy importante. Los rubros que ofrecen posibilidades para reducir los montos son: agroquímicos y financieros, que constituyen respectivamente el 20% y el 8% de los costos totales. En lo que se refiere a los rendimientos puede observarse que el valor máximo es de 100.34 sacos equivalente a un ingreso bruto de $\text{¢}261.586.38/\text{ha.}$, un beneficio de $\text{¢}103.788/\text{ha.}$; $\text{¢}1.037.882/10 \text{ ha.}$ y $\text{¢}172.980.33$ mensual que puede ser muy atractivo para una familia que se dedica a la agricultura.

X. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados que hemos presentado nos conducen a enunciar las siguientes conclusiones.

1. El agua de riego es un insumo primordial de la producción agrícola de arroz en el área de Bagatzí, cuyo monto sólo constituye el 1.58% del costo de producción, sobre lo cual debe de hacerse mucho hincapié para motivar el uso eficiente del agua, a fin de optimizar su uso.
2. En promedio la eficiencia de utilización del agua de riego es de 80% (conducción, distribución y retención en la finca), la cual puede considerarse como moderadamente satisfactoria, pero requiriendo un mayor control en la captación y en el caudal de drenaje.
3. La red de riego no ha implementado sus estructuras de medición de los caudales tendiente a motivar el uso racional y eficiente del agua.
4. En las pérdidas en la fincas predominan aquellas que se hacen a través de los bordos laterales y de los drenes, las primeras pasan a la parcela vecina, mientras que las segundas no se reutilizan en el área.

(1) Información dada por el Departamento de Desarrollo, Distrito de Riego Arenal.

5. La mayoría de los productores se esfuerza por trabajar sus tierras en la época de limitaciones de agua, habiéndose logrado sembrar en el primer ciclo de 1992, el 85% de la superficie total regable, lo que los obliga a hacer un buen uso del agua y a adoptar una actitud comunitaria para compartir las disponibilidades del recurso.
6. Los costos de producción son elevados. Hay una labor a realizar en la reducción de los costos de los agroquímicos y en los gastos financieros.
7. Los rendimientos en sacos de 73.6 Kg.(2% de impurezas y 13% de humedad) son aceptables aunque todavía hay grandes posibilidades de incremento.

XI. RECOMENDACIONES

1. Motivar a los productores del Distrito de Riego Arenal, a hacer un uso eficiente, racional y comunitario del agua de riego disponible, desaguando los bancales en lugares donde sea posible aún aprovecharla para el riego de otras áreas.
2. Incentivar a los usuarios del riego a conservar el potencial productivo de los recursos agua y suelo, evitando el lavado de las partículas finas del suelo por medio de la erosión hídrica ocasionada por la escorrentía superficial.
3. Capacitar a los productores en las técnicas del riego para usar apropiadamente los recursos, evitar las aplicaciones excesivas de agua para rellenar el reservorio del suelo como si éste fuese un almacén de capacidad infinita y que el agua se mantuviese estática en el suelo.
4. Orientar la asistencia técnica en riego, tanto en el manejo del agua en la parcela como en la operación de la red de canales para controlar y medir el agua de entrada, así como su uso apropiado y razonable en la parcela.
5. Dominar los componentes tecnológicos en el cultivo de arroz bajo riego que emplean los productores de altos rendimientos (100 sacos de 73.6 Kg/Ha), para difundirlos entre los usuarios del área a fin de compartir las bondades de la tecnología existente.
6. Orientar a los productores a reducir los costos de producción, y a elevar los rendimientos para hacer de la actividad agrícola de regadío, un quehacer atractivo económicamente.

7. **Extender el diagnóstico de la eficiencia del uso del agua de riego a otras parcelas del área de Bagatzí.**

XII. BIBLIOGRAFIA

1. **BOS. M.G. 1974. La eficiencia del riego en zonas de fincas pequeñas (versión española por S.A. ORTIZ F-URRUTIA). Comité español de riegos y drenajes. Comisión Internacional de Riego y Drenajes. 47 páginas.**
2. **GUROVICH, Luis A. 1985. Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. Apartado 55-2200, Coronado, San José, Costa Rica.**

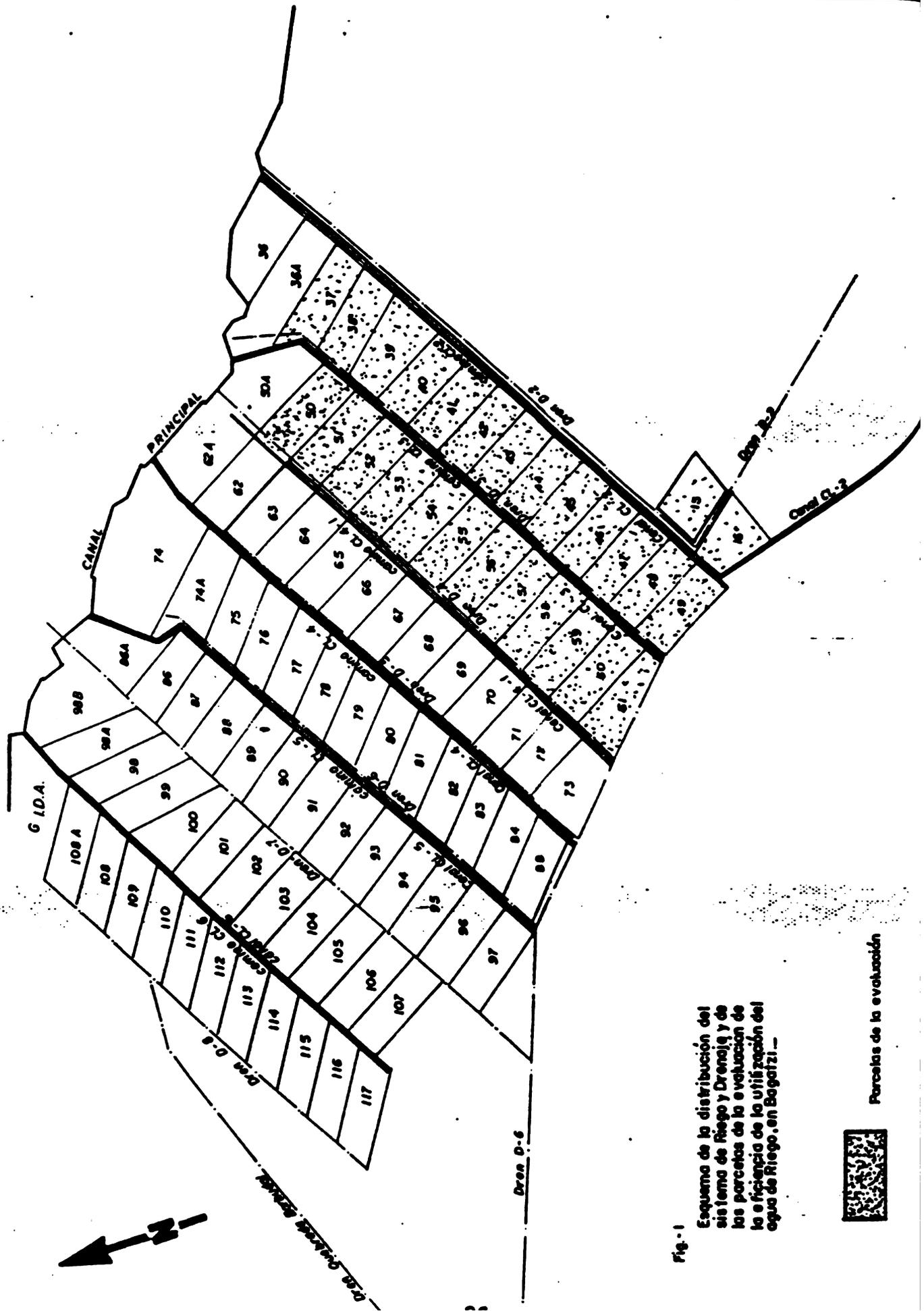


Fig. 1
 Esquema de la distribución del sistema de Riego y Drenaje y de las parcelas de la evaluación de la eficiencia de la utilización del agua de Riego, en Bogatzi ...

Parcelas de la evaluación

CONVENIO IICA-SENARA

II ETAPA DEL PROYECTO DE RIEGO

ARENAL-TEMPISQUE

**PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA LA
PLANIFICACION DE LA AGRICULTURA
DE REGADIO EN EL DISTRITO ARENAL**

Humberto Pizarro C.

**San José, Costa Rica
Mayo, 1993**

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA LA PLANIFICACION DE LA AGRICULTURA DE REGADIO EN EL DISTRITO ARENAL

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
Tabla de contenido	i
Lista de cuadros	iii
Lista de figuras	iv
I. GENERALIDADES	1
II. OBJETIVOS	3
III. PLANIFICACION DE LA APLICACION DEL AGUA DE RIEGO A LA PARCELA	3
3.1. Relación suelo-agua-planta-atmósfera	3
3.1.1. Una combinación adecuada de los elementos suelo-planta-aplicación del agua	5
3.1.2. Los requerimientos de riego	5
3.1.3. Largo y ancho de la unidad de riego	5
3.1.4. El módulo de riego	6
3.1.5. La frecuencia de riegos	6
3.2. Algunos elementos que deben tenerse en cuenta en la agricultura de regadío del Distrito Arenal	6
3.2.1. Las condiciones climatológicas	6
3.2.2. La textura del suelo	9
3.2.3. La productividad relativa	11
3.2.4. El déficit hídrico, la fenología del cultivo y la productividad relativa	14
3.2.5. Relación agua-suelo	17

	Pág.
IV. EL PLAN DE CULTIVO Y RIEGO	17
4.1. Concepción	17
4.2. Elementos que deben considerarse en la elaboración del plan de cultivo y riego	18
V. EJEMPLO DE ELABORACION DE UN PLAN DE CULTIVO Y RIEGOS	20
VI. FRECUENCIA DE RIEGOS Y VOLUMENES A APLICAR	23
6.1. Arroz	23
6.1.1. Primer ciclo (enero-junio)	23
6.1.2. Segundo ciclo (agosto-noviembre)	26
6.2. Caña de azúcar	28
6.3. Pastos	34
VII. CONCLUSIONES	41
VIII. BIBLIOGRAFIA	42
ANEXOS	

LISTA DE CUADROS.

		Pág.
Cuadro No.1	Planificación de la aplicación de agua a la parcela	4
Cuadro No.2	Estimación de los requerimientos de riego y los caudales para el plan de cultivo y riegos de una finca de 34 Has. En el distrito Arenal	21
Cuadro No.3	Precipitaciones mensuales en la estación Taboga. Período 1970-1991.	44
Cuadro No.4	Probabilidad de ocurrencia de la precipitación mensual de la Estación Taboga	45

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Fig.1	Precipitación y evaporación acumuladas. Estación Taboga, 1991.	7
Fig.2	Precipitación y evaporación mensual. Estación Taboga, 1991.	8
Fig.3	Triángulo de clases texturales.	10
Fig.4	Relación entre el % de humedad disponible utilizados y el potencial matricial.	12
Fig.5	Productividad relativa del maíz en función del potencial matricial.	13
Fig.5a	Crecimiento relativo del tallo de caña de azúcar en función del potencia matricial del suelo.	15
Fig.6	Efecto del déficit fenológico sobre la productividad relativa.	16
Fig.7	Ciclo vegetativo de los cultivos: Arroz, Caña de Azúcar y Pastos, (San Luis, Distrito Arenal.	22
Fig.8a a 8 l	Ajuste a la distribución normal de la precipitación mensual (mm).	46 a 57

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA LA PLANIFICACION DE LA AGRICULTURA DE REGADIO EN EL DISTRITO ARENAL

*R. Humberto Pizarro C**

I. GENERALIDADES

El riego es la aplicación artificial del agua a los terrenos agrícolas, para sustituirle la humedad necesaria al desarrollo de las plantas, en ausencia de lluvia natural. La fuente de agua puede ser un río, un lago natural, un reservorio artificial o la extracción del agua del subsuelo. Como en todo proyecto en el de riego se distinguen dos aspectos: El Estructural y el No Estructural. El primero se refiere a las obras físicas: construcción de la presa para formación del embalse o la presa de retención para la derivación del agua al canal, la red de canales: Primarios, secundarios, terciarios, la red de drenaje, la red de caminos, las obras de arte como alcantarillas, caídas, sifones, acueductos, etc. y el segundo está en relación con la productividad y la producción agropecuaria, es decir, trata del productor y su capacitación; de la adecuación de la tierra a la agricultura de regadío, de la organización de los usuarios, de la relación suelo-agua-planta-atmósfera, del crédito, de la comercialización, de la generación y transferencia de tecnología y de la agroindustria y de todas las actividades derivadas.

Es muy común asociar las obras civiles con el sistema de riego y a este último se le identifica con la red de canales; la presa, las obras de arte, los caminos y la red de drenaje, dedicándosele la mayor parte de la inversión dejando muy poco para el componente no estructural, sin tener en cuenta que el monto gastado sólo podrá recuperarse si la productividad y la producción aumentan lo que incrementa, consecuentemente, los beneficios de los productores y con ello su capacidad de pago, al mismo tiempo que la creación de empleos y por el efecto multiplicador de la economía, se obtienen ventajas que permiten activar el desarrollo Regional.

La necesidad de riego en las zonas semitropicales surge debido a la ausencia espacio-temporal de la lluvia. En el espacio porque la precipitación no cubre simultáneamente toda el área y en el tiempo, porque este elemento se concentra en algunos meses del año, eso hace que el riego sea un factor importante de la producción agrícola y que juegue un rol preponderante en el éxito de la actividad agropecuaria. En el caso del Distrito de Riego Arenal, anualmente la evaporación es mayor que la precipitación y esta última se produce en dos períodos: mayo, junio y

* *Consultor en Riego y Drenaje Convenio IICA-SENARA.*

setiembre, octubre y noviembre. En general, el período seco es de siete meses y la precipitación promedio es superior a 1.350 mm. por año, o sea, 13.500 m³ de agua, con lo que se puede obtener una cosecha de arroz y tal vez una de caña de azúcar. Desafortunadamente la variabilidad de la lluvia no asegura la obtención de una cosecha con rendimientos económicamente atractivos. El riego aporta a los productores la seguridad de la cosecha, les permite dar al suelo el agua que las plantas requieren en la época crítica del desarrollo del cultivo, que de lo contrario afectaría la productividad.

En ese sentido el riego en el Distrito Arenal otorga a la agricultura la flexibilidad necesaria para poder adaptar los cultivos a sus mejores condiciones climáticas, de tal manera que los períodos vegetativos coincidan con las situaciones más favorables que conduzcan a la obtención de los mejores rendimientos de la parte comercial. Hay que destacar que el agua de riego es un factor que contribuye significativamente en la productividad de los cultivos en comparación a los otros insumos (semillas, fertilizantes y otros agroquímicos) y que por lo tanto merece una singular consideración que debe reflejarse en la tarifa, la cual debe servir a la autofinanciación de los costos de los servicios de operación, mantenimiento y administración, así como aquellos derivados de hacer disponible el agua en la cabecera de la parcela.

La aplicación del agua a la parcela, para ser eficiente requiere reducir al máximo aquellas cantidades que no son aprovechadas por el uso consuntivo de las plantas, es decir, disminuir la escorrentía superficial, la percolación profunda, la retención superficial en depresiones de la superficie del terreno, para esto es conveniente efectuar la adecuación parcelaria, lo que significa hacer las nivelaciones, determinar los bancales o terrazas, determinar el grado de pendiente longitudinal y transversal, enseguida, según la respuesta de la planta a la humedad determinar la forma de poner el agua en el suelo, melgas, surcos, corrugaciones. (Admitimos que el riego será por gravedad).

La interacción suelo-agua es muy compleja, por lo que es muy conveniente realizar ensayos de campo para determinar la óptima relación entre el caudal y las dimensiones de la Unidad de Riego (largo de surco, largo de corrugaciones, largo y ancho de melgas) que nos dé la mayor eficiencia, humedeciendo la profundidad del perfil del suelo requerida, sin erosionar el suelo. Es la práctica, la que nos ayudará a ganar experiencia y a obtener los criterios para tomar la mejor decisión. Para comenzar los trabajos de campo, puede utilizarse los resultados indicados en la literatura para condiciones similares. La observación cuidadosa en el momento de realizar las pruebas, el respeto a los principios hidráulicos que gobiernan el flujo del agua, sobre superficies rugosas y porosas y la reflexión son elementos que favorecen hacer una buena elección de los factores del riego. Es importante destacar que el suelo es un reservorio limitado y permeable, que una vez excedido en contenido de humedad, el agua se desplaza y que por lo tanto, hay un movimiento continuo del agua de zonas de mayor energía a zonas de menor energía.

En otro enfoque es digno de resaltar, que los productores agrícolas bajo riego tengan en cuenta los esfuerzos financieros que debe de hacer el país, para conseguir los montos que demande la construcción de las obras y que comprometen por muchos años el equilibrio económico del país y que todos los ciudadanos tienen que pagar. Paralelamente hay que destacar que la concentración de la inversión en el Proyecto de Riego Arenal deja de lado otros proyectos, en consecuencia es una ventaja que los productores del Distrito Arenal adquieren con respecto a los otros costarricenses y por lo tanto, hay un compromiso de parte de los beneficiarios para que contribuyan tanto a la recuperación de la inversión como a los costos que demanden los servicios de mantener un sistema de riego para una agricultura de regadío, intensiva, conservacionista y sostenible.

II. OBJETIVOS

Esta publicación pretende dar una visión de los componentes de la agricultura de regadío, ofreciendo ideas para su buena utilización y destacar el rol fundamental que desempeña el plan del cultivo y riegos en el ordenamiento del uso del agua disponible para establecer una distribución racional según el área y los cultivos sembrados para asegurar las cosechas, especialmente en las épocas de escasez del recurso hídrico.

III. PLANIFICACION DE LA APLICACION DEL AGUA DE RIEGO A LA PARCELA

3.1 Relación Suelo-Planta-Agua-Atmósfera

En la agricultura de regadío debe de considerarse de manera integral, las características individuales de cada uno de los elementos: suelo, planta, clima y agua (cuadro 1). Además de los insumos que intervienen en la tecnología agronómica del cultivo, en ese sentido deberá planificarse:

- Una combinación adecuada de los elementos: suelo, planta y aplicación del agua.
- Los requerimientos de riego: lámina, volumen.
- El largo y ancho de la Unidad de riego en concordancia con la pendiente y el caudal disponible. (Este trabajo debe realizarse en el terreno y hacerse una cuidadosa evaluación).
- La determinación del módulo de riego (caudal que un regador puede manejar con eficiencia).

- La frecuencia de riego (según el uso consuntivo del cultivo, la infiltración y el contenido de humedad del suelo más apropiado para el desarrollo del cultivo, según su etapa fenológica.
- La eficiencia de utilización del agua (según el tipo y la modalidad de aplicación del agua: surcos o melgas.

Las consideraciones presentadas se conjugan en el plan de cultivos y riegos que anualmente debe ser presentado por los usuarios, a fin de elaborar por canal, por sector hidráulico, por zona y para el Distrito los requerimientos de Riego, así que la superficie máxima por cada cultivo que recibirá agua durante el ciclo, para la obtención de la cosecha. Mientras no se elabore el plan de cultivos y riegos para el Distrito, continuarán creándose conflictos entre los usuarios y SENARA en las áreas piloto de San Luis y Bagatzí.

CUADRO 1

PLANIFICACION DE LA APLICACION DE AGUA A LA PARCELA

EL SUELO	LA PLANTA	EL CLIMA	EL AGUA
Curva de infiltración Velocidad de infiltración Textura Estructura Fertilidad Profundidad Estratificación del perfil Propiedades hídricas Curva de retención de humedad Capacidad de campo Coeficiente de marchitez Agua aprovechable Densidad aparente Necesidad de adecuación parcelaria Contenido y tipo de sales Profundidad del nivel freático Terrazas, bancales	Período vegetativo Fecha de siembra Parte comercial Ciclo fenológico Período crítico Coeficientes de uso consuntivo Necesidad de drenaje Profundidad de raíces Hábito de crecimiento con respecto al agua Período de riego Función de producción Rendimientos Exigencias de factores meteorológicos en su ciclo fenológico Formas de riego: surcos, melgas, corrugaciones	Temp. media Temp. mínima Temp. máxima Horas de sol o brillo solar Radiación solar Humedad relativa Precipitación total anual Ciclo de lluvias Duración de c/período: Seco Lluvia Seco Lluvia Viento Evaporación Evapotranspiración potencial Intensidad de lluvia	Fuente Volumen total Caudal Disponibilidad estacional Calidad

3.1.1 Una combinación adecuada de los elementos: suelo-planta-aplicación del agua

Cada planta según el tipo y perfil del suelo, así como su tolerancia a la humedad desarrolla su sistema radicular y adquiere un crecimiento particular, así por ejemplo: el arroz requiere de condiciones de saturación y sus raíces alcanzan de 0.15 a 0.18 m. Luego para el arroz será conveniente un suelo pesado (arcilloso o franco arcilloso), que presente a poca profundidad (0.20 a 0.30 m.) una capa impermeable ($K \leq 0.001$ m/día) que impida la percolación del agua, este cultivo se riega por melgas. En el caso del maíz se desarrolla bien en suelos profundos y su sistema radicular puede alcanzar de 0.9 a 1.20 m. Requiere de aireación. Para este cultivo se recomendará suelos francos, francos limosos, franco arenosos y se regará por surcos con láminas pequeñas pero frecuentes.

3.1.2 Los requerimientos de riego

Cada planta creciendo en un clima determinado, tiene un uso consuntivo particular, las necesidades hídricas restadas de la lluvia efectiva dan los requerimientos netos de riego; estos últimos divididos por la eficiencia del uso del agua conducen a los requerimientos brutos de riego, los cuales se expresan en lámina (cm. de altura de agua), en volumen (m³/ha.) o en caudal (l/s-ha.).

- a. La lluvia efectiva es la parte de la lluvia total que el suelo retiene y que las plantas pueden aprovechar para su desarrollo. En el procedimiento para el cálculo de este elemento, recomendado por el Servicio de Conservación de Suelos U.S.D.A., se hace intervenir la evapotranspiración y la precipitación total en el mes. El valor máximo mensual a partir del cual el exceso de lluvia ya no es beneficioso para el cultivo es de 200 mm.
- b. La eficiencia del uso del agua se evaluará en el terreno como la relación entre la cantidad que se requiere para hacer la agricultura y la que se recibe de la red de riego. En general en el riego por gravedad que impera en el Distrito Arenal, la eficiencia es baja, puede estimarse en 40%. Los requerimientos de riego pueden calcularse cada 15 días o cada mes.

3.1.3 El largo y ancho de la Unidad de Riego

Para que la aplicación del agua a la parcela sea eficiente, debe de buscarse un humedecimiento uniforme del perfil del suelo a la profundidad requerida, al mismo tiempo que se disminuye la escorrentia superficial. Para lograr este cometido, es conveniente realizar ensayos en el campo combinando pendiente del terreno y caudal con el avance del flujo.

Estas experiencias deben realizarse tanto para el riego por surcos como por melgas. Destaquemos también que la infiltración acumulada nos determina el tiempo de riego, es decir el lapso necesario para aplicar la lámina requerida.

3.1.4 El módulo de riego

El módulo de riego es el caudal en litros por segundo, que un regador puede manejar eficientemente. Esto permitirá conocer, a partir del caudal unitario por surco o por melga el tiempo que ese caudal se aplicará a una determinada área de riego.

3.1.5 La frecuencia de riegos

Conociendo el volumen total a aplicar durante el período y según la capacidad de retención de los suelos, en cada riego el suelo recibirá la totalidad o una parte de ese total. La frecuencia de riegos es el número de veces que en el período dado, debe de aplicarse el agua para cubrir los requerimientos de riego.

3.2 Algunos elementos que deben tenerse en cuenta en la agricultura de regadío del Distrito Arenal

3.2.1 Condiciones climatológicas

Las condiciones climatológicas para la Estación Taboga pueden suponerse representativas del Distrito de Riego Arenal. Al comparar la evaporación y la precipitación, la figura 1 muestra que la evaporación acumulada es superior a la precipitación también acumulada, si se considera que la primera es un indicador de los requerimientos de riego puede deducirse que en esta zona la agricultura intensiva, sólo será posible si se hace intervenir el riego suplementario.

La figura 2 presenta la variación mensual de estos dos elementos meteorológicos: se aprecia que hay dos períodos secos, uno largo de noviembre a abril (6 meses) y otro corto en julio y dos períodos lluviosos mayo-junio y el otro agosto, setiembre, octubre, siendo la precipitación mensual en este período mayor que en el primero. La evaporación es superior a la precipitación en los períodos secos y menor que la precipitación en los períodos húmedos.

Figura n°1

Precipitación y Evaporación Acumulada Estación Taboga 1991

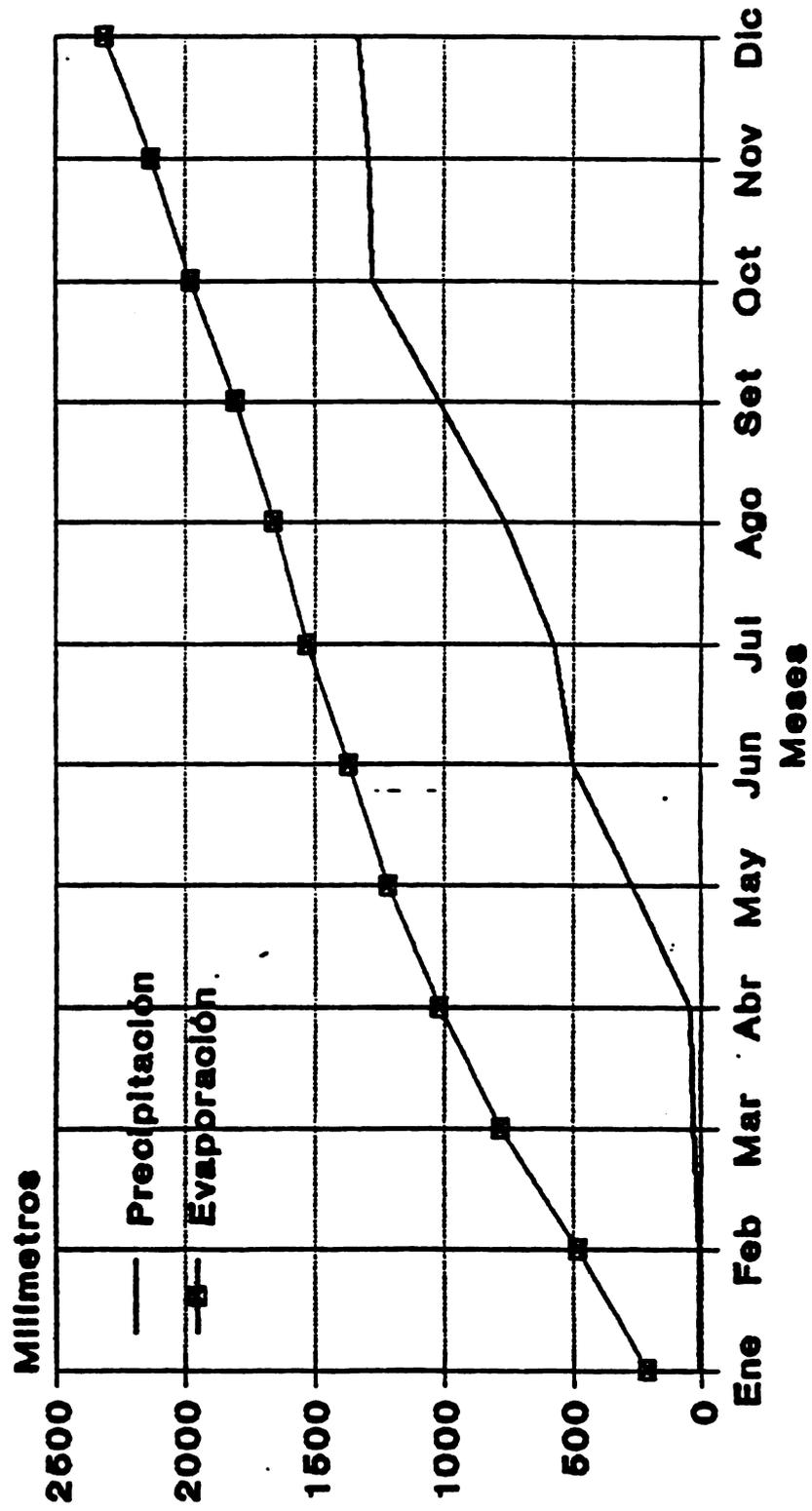
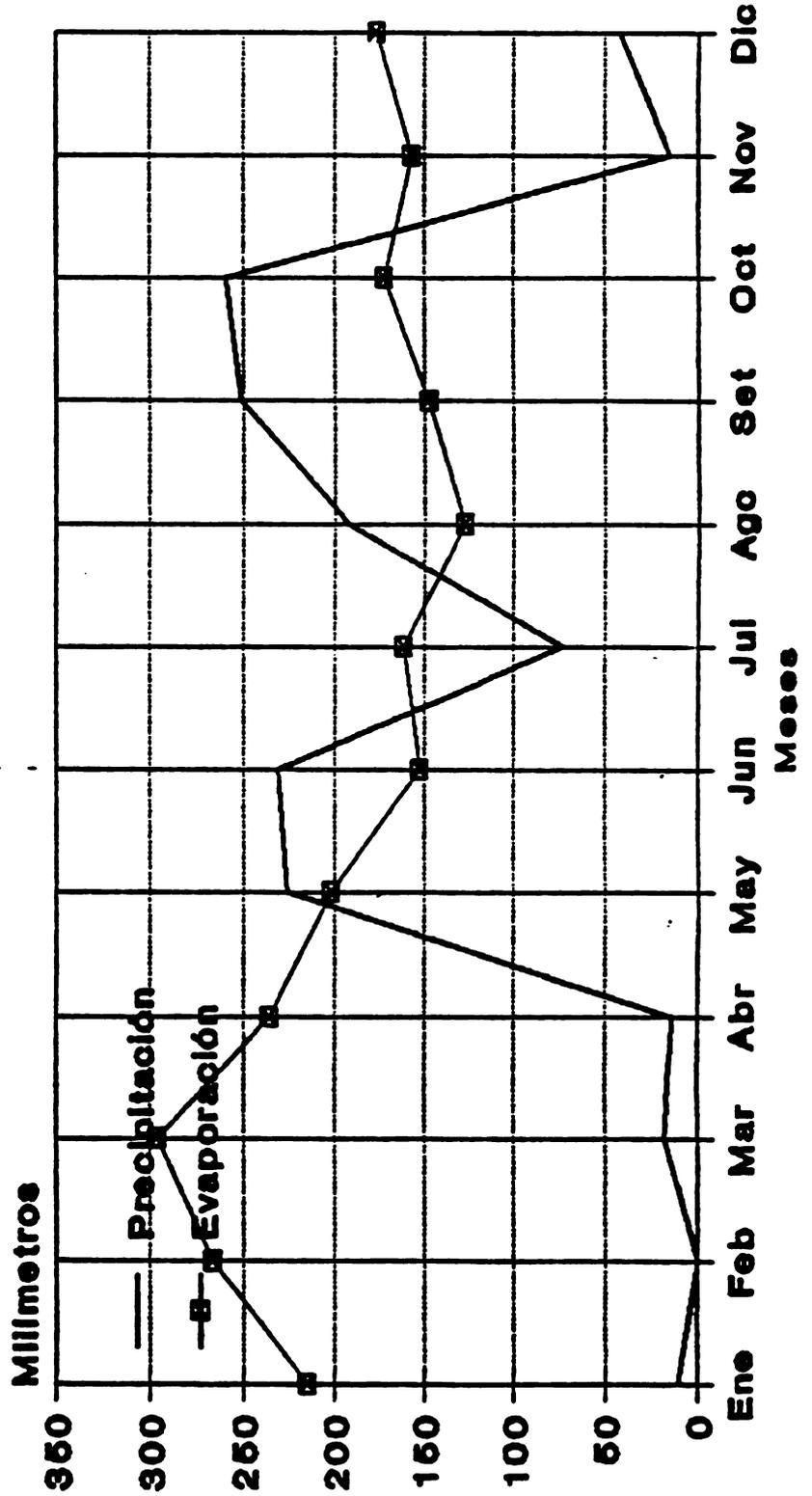


Figura nº2

Precipitación y Evaporación Mensual Estación Taboga 1991



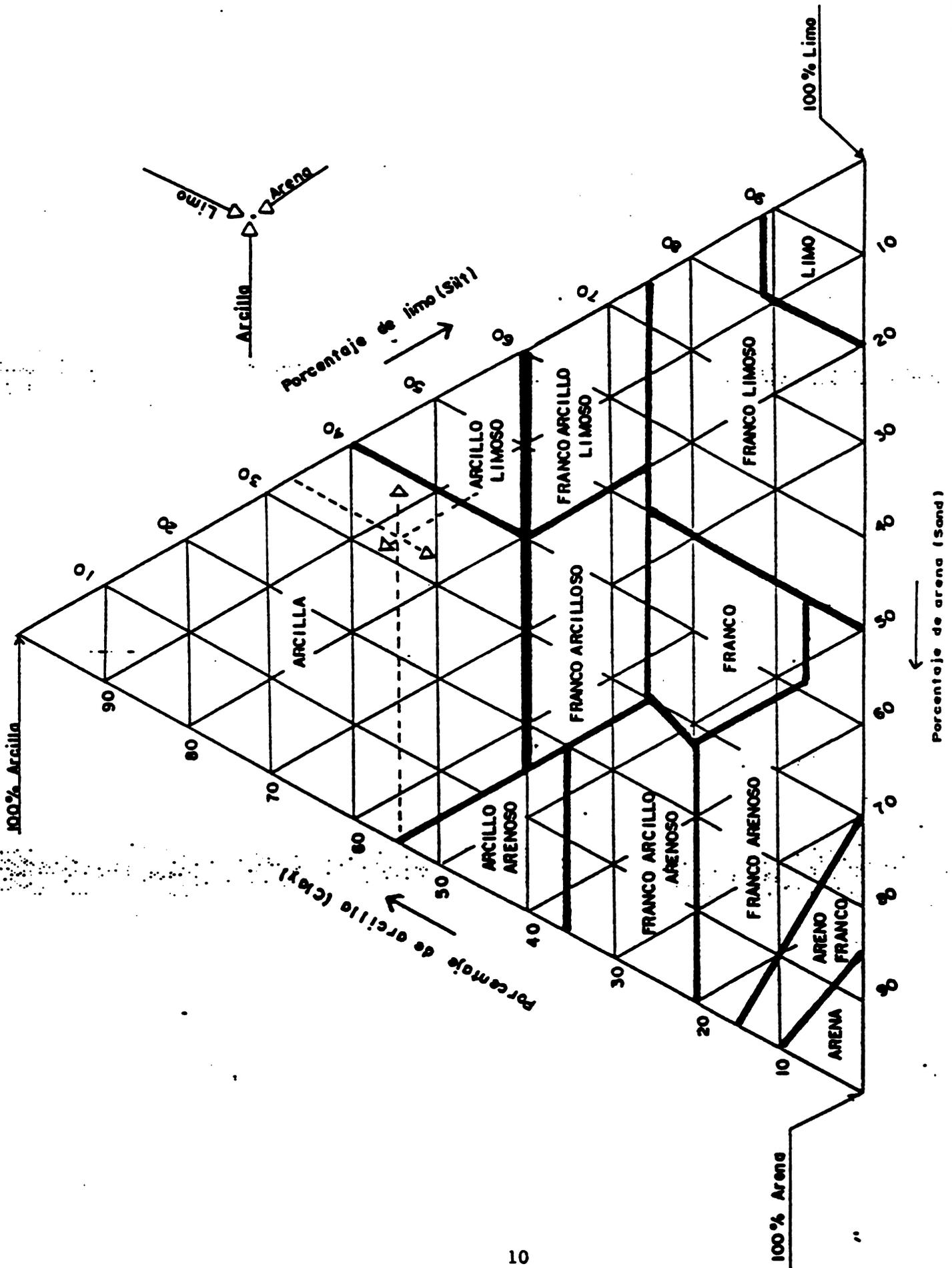
Esta situación obliga a la programación de los riegos en las épocas secas, y el plan de cultivo y riegos juega un rol muy importante en asegurar la superficie que recibirá agua sin limitaciones y que los productores conozcan las áreas que pueden sembrarse de cada cultivo, especialmente en las áreas de Bagatzí (alimentado por el río Piedras) y San Luis (el agua de riego es derivada del río Cañas) donde los caudales disponibles en la época seca disminuyen considerablemente, creando situaciones conflictivas entre los usuarios y los funcionarios del Distrito Arenal.

También este comportamiento de la precipitación permite planificar las actividades de mantenimiento en las épocas, donde las necesidades de operación disminuyen. Así se combina la labor de reparaciones en función de la agricultura de regadío. Es importante que el plan de cultivo y riegos prevea la realización anual de las tareas de mantenimiento.

3.2.2 La textura del suelo

En general, en la agricultura de regadío se asocia la textura del suelo con su capacidad para la retención de humedad. Para la clasificación se emplea el triángulo textural, (figura 3), en el cual se observa que las clases texturales pueden ser: Arcilla, Arcillo-Arenoso, Arcillo Limoso, Franco Arcilloso, Franco Arcillo Limoso, Franco Arcillo Arenoso, Franco, Franco Limoso, Franco Arenoso, Arena Franca, Arena y Limo. Para cada clase textural existe una gama de posibilidad de combinar los porcentajes de Arcilla, Limo y Arena, así por ejemplo: los suelos cuya composición se da a continuación, se clasifican como franco limoso:

ARENA %	LIMO %	ARCILLA %
40	55	05
30	60	10
35	60	05
25	65	10
20	70	10
20	75	05
25	60	15
20	60	20
10	70	20
5	75	20



Esto nos indica que la clase textural es sólo una orientación del tipo de suelo y que las características hídricas, deben ser determinadas para cada caso, a fin de obtener la curva de retención de humedad que al lado de las exigencias del cultivo nos facilite la planificación del riego.

Dentro de esa generalidad, en la figura 4 se ilustra para diferentes clases texturales las curvas de disponibilidades de humedad en el suelo utilizada (abscisas) en función del potencial matricial del suelo (tensión o presión negativa), esta última es la presión con que el suelo retiene la humedad, equivalente a la presión que ejercen las plantas para obtener esa humedad. El enunciado recíproco de Humedad Disponible utilizada, es Humedad Disponible retenida. La Humedad Disponible es el contenido de humedad del Suelo comprendido entre la capacidad de campo y el coeficiente de marchitez, expresado en porcentaje (%). La indicación de humedad disponible utilizada de 25% corresponde a 75% de la humedad disponible retenida.

Para un valor dado del potencial matricial del suelo, la humedad disponible utilizada en % crece de las texturas pesadas a las livianas: Arcilla, Franco, Franco Arenoso, Franco arenoso fino y Arena franca, al contrario la humedad disponible retenida decrece en el mismo orden textural, lo que significa que para un mismo potencial matricial, los suelos pesados (arcillosos) retienen mayor porcentaje de humedad disponible que los suelos livianos (arenosos).

3.2.3 La productividad relativa

La productividad óptima de una planta creciendo sin limitaciones de humedad, puede considerarse equivalente al 100%. La productividad obtenida de una planta que crece con limitaciones de humedad puede expresarse en porcentaje de la productividad óptima, el cociente se ha designado como productividad relativa. De la figura 4 se deduce la relación entre el potencial matricial del suelo y la productividad relativa, ya que el potencial matricial del suelo está ligado al contenido de humedad y éste a la productividad relativa. En la figura 5, se observa que en el caso del maíz, si se riega cuando el contenido de humedad es tal que el potencial matricial del suelo es 2 bares (Un bar = 1 atmósfera = 10.33 m de altura de agua = 76 cm. de altura de mercurio = 14.7 libras por pulgada cuadrada = 1 kilogramo fuerza por cm²), la productividad relativa es de 73% y si el potencial matricial es de 4 bares, la productividad relativa es de 53%.

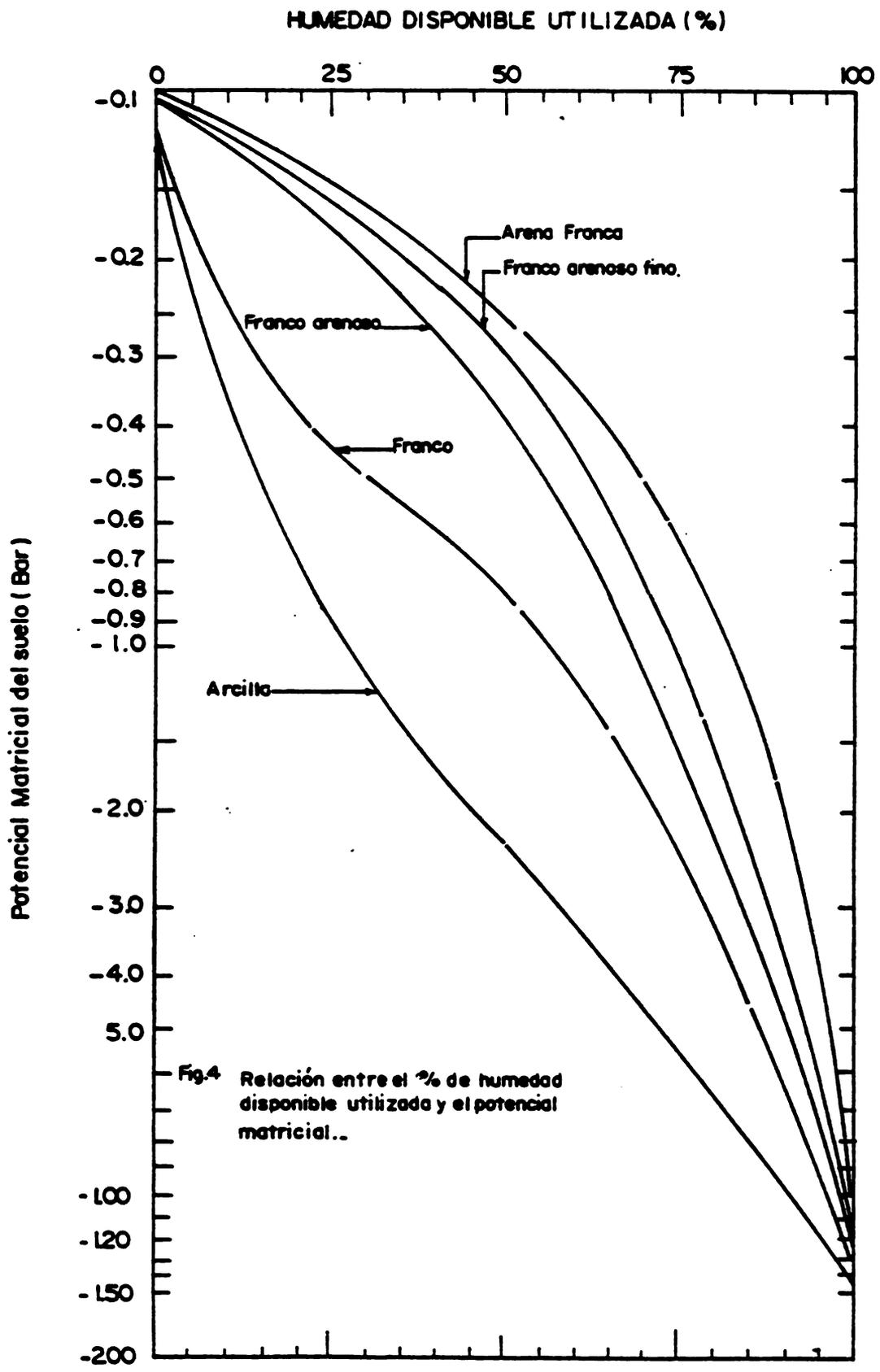
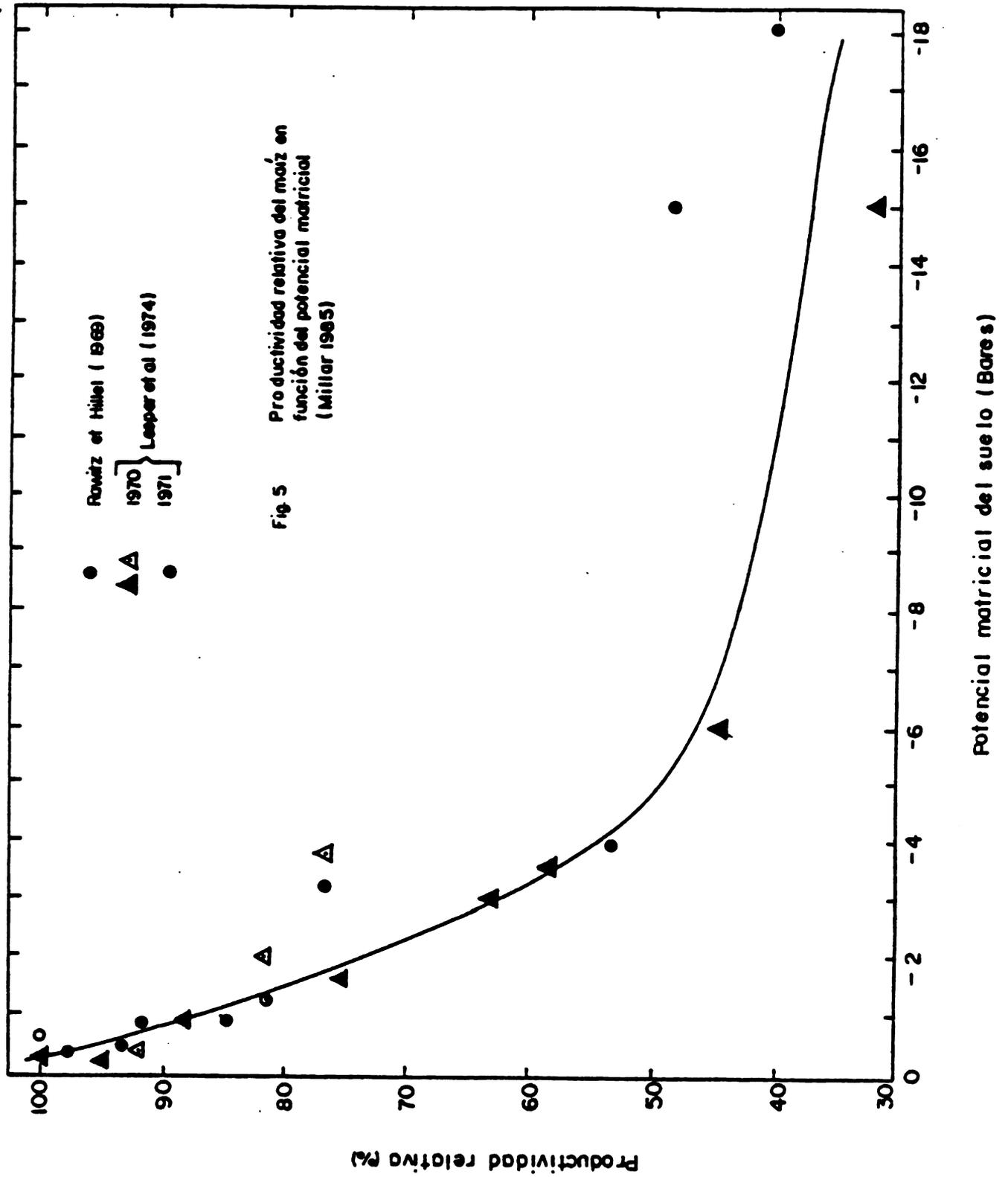


Fig.4 Relación entre el % de humedad disponible utilizada y el potencial matricial..



Teniendo en cuenta que las plantas al crecer en stress por falta de humedad, disminuyen su productividad relativa y que también existe un límite de contenido de humedad por arriba del cual la productividad relativa no es afectada. Es muy importante, en la agricultura de riego determinar ese valor de humedad del suelo al cual debe realizarse el riego, porque ese límite, en función de la evapotranspiración real del cultivo determina la frecuencia de los riegos, las láminas y los volúmenes por aplicar. La figura 5a muestra el crecimiento relativo del tallo de la caña de azúcar, en función del potencial matricial del suelo. Si se riega cuando el potencial matricial del suelo alcanza una atmósfera, el crecimiento relativo del tallo es del 78% y si se riega cuando el potencial matricial del suelo llega a 2 atmósferas, el crecimiento relativo del tallo es del 46% lo cual influye en el rendimiento del cultivo.

- 3.2.4 El déficit hídrico, la fenología del cultivo y la productividad relativa: En su desarrollo vegetativo la planta desde su germinación hasta su cosecha, atraviesa por varios estados, cada uno de los cuales presenta signos exteriores distinguibles, esos son los períodos fenológicos del cultivo, durante los cuales sus necesidades en nutrimentos y en humedad son también variables y cuya limitación afecta en cierto grado la productividad relativa del elemento comercial. Un ejemplo de estos aspectos se muestra en la figura 6; donde en las abscisas se presenta la fenología del maíz en la que se indican:

ESTADO	DIAS DESPUES DE LA GERMINACION
Germinación	0
Inicio de la floración femenina	60
Fin de la polinización	74
Formación del grano lechoso	88
Presentación del grano semiconsistente	100
Presentación del grano brillante	112
Presentación del grano maduro	120

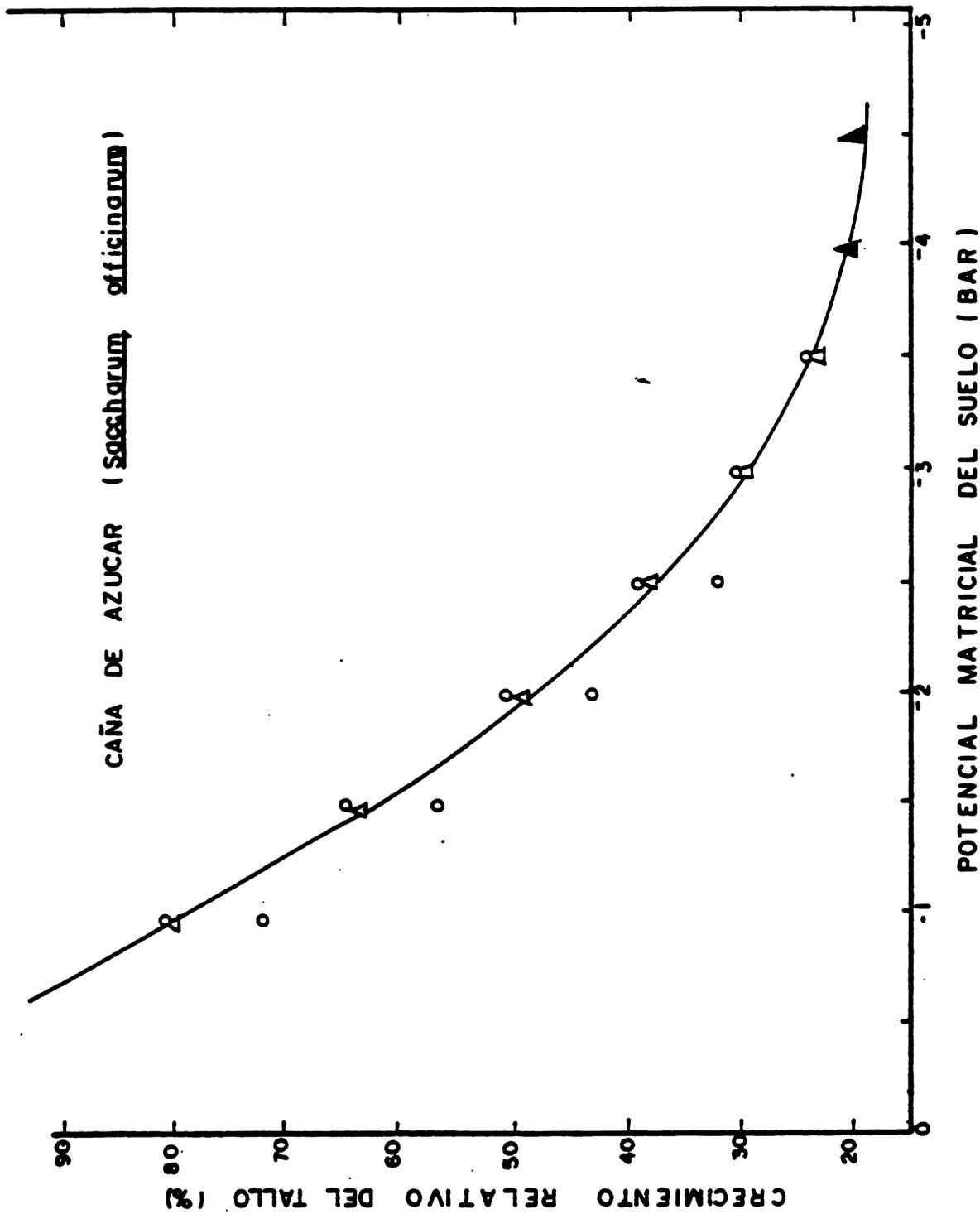
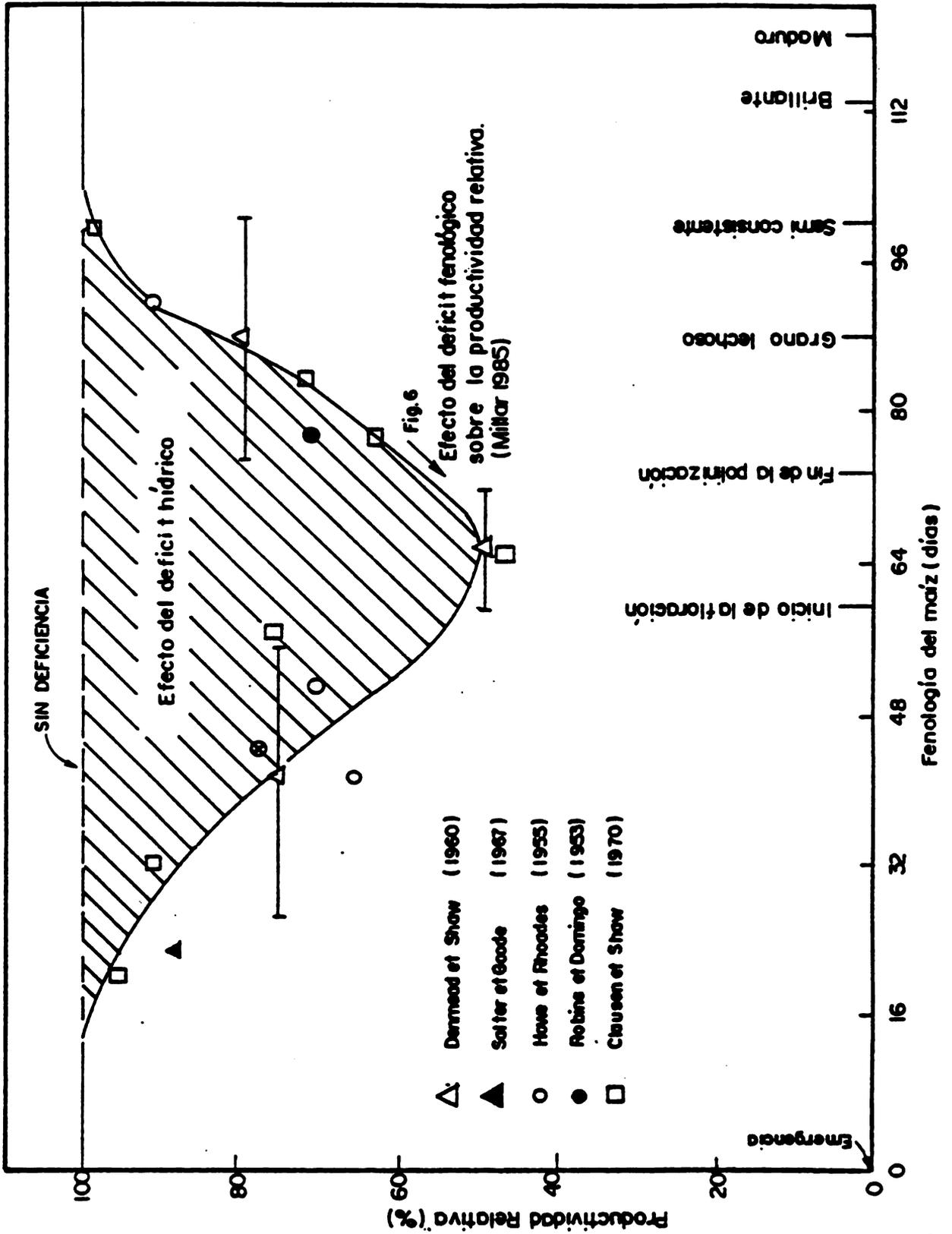


Figura 5a. Crecimiento relativo del tallo de caña de azúcar en función del potencial matricial del suelo.



En las ordenadas está la productividad relativa. El gráfico indica el efecto del déficit hídrico, según el estado de desarrollo del cultivo, en la productividad relativa. Se aprecia que el mayor impacto de la falta de humedad se presenta durante el período de inicio de la floración y la polinización en el que la productividad relativa es de 50%.

Las constataciones enunciadas revelan la importancia del riego para proporcionar la humedad requerida en el período fenológico de mayor sensibilidad del cultivo, evitando pérdidas en las cosechas.

3.2.5 Relación Agua-Suelo

El agua debe aplicarse para restituir al suelo la humedad que requieren las plantas, de tal manera que sólo se mojará el espesor del suelo hasta donde llegan las raíces y la aplicación se hará en concordancia con la velocidad de infiltración, para evitar la percolación profunda y la escorrentia superficial que hacen ineficiente el riego y pueden deteriorar la capacidad productiva por la erosión del suelo y por el ascenso del nivel freático, que restringe las posibilidades de diversificación de cultivos. La planificación de la aplicación del agua a la parcela, es un requisito importante en la agricultura de regadío, que debe comenzar con la determinación de las características del suelo, así como la pendiente superficial del terreno, los caudales disponibles y realizar los ensayos de campo para encontrar las mejores relaciones que aseguren el desarrollo sostenible de la agricultura de regadío. Así se dispondrá de: La Unidad de riego: largo, ancho, pendiente: longitudinal y transversal de la melga; largo y pendiente del surco; Lámina y Volumen de agua por aplicar total y por riego y la frecuencia de los riegos, según el período fenológico del cultivo.

El conjunto de elementos presentados se conjugan en el plan de cultivo y riego, cuya elaboración y ejecución favorece la operación del riego y asegura la agricultura de regadío.

IV. EL PLAN DE CULTIVO Y RIEGO

4.1 Concepción

El plan de cultivo y riego es el procedimiento de trabajo de un sistema de riego orientado a asegurar de manera equitativa, la distribución de las aguas de riego entre las áreas agrícolas con derecho al riego. Para su elaboración se tiene en cuenta los siguientes elementos: Los cultivos, sus ciclos vegetativos, fechas de siembra, requerimientos de riego con su frecuencia y volumen a lo largo del ciclo, las disponibilidades hídricas, los tipos de suelo, las eficiencias con que se maneja el agua de riego y la infraestructura hidráulica existente.

En el momento actual, en el Distrito de Riego Arenal, las áreas agrícolas de Paso Hondo, La Guaría y Ampliación Paso Hondo no tienen limitaciones de agua porque el canal del Sur y los canales secundarios que de él se derivan, conducen un caudal superior a las necesidades de los cultivos de las áreas agrícolas. Por el contrario, las áreas de San Luis y Bagatzí que obtienen el agua del río Cañas y del río Piedras, respectivamente, tienen restricciones en verano (primer ciclo del cultivo del arroz) porque la ausencia de lluvias aumenta las demandas de agua y por oposición los caudales disponibles en los ríos mencionados disminuyen. Ante esta circunstancia el Distrito Arenal en calidad de entidad responsable del riego, debe advertir a los regantes de las disponibilidades de agua durante esta época, así como indicar el área que debe sembrarse de cada cultivo para evitar pérdidas de cosecha por falta de agua. Además de reducir el área de siembra, debe motivarse el incremento de la eficiencia en el manejo del agua, promoviendo la reutilización de los caudales y minimizando el agua de drenaje. Paralelamente debe resaltarse el aspecto social del riego el cual debe servir a crear un adecuado bienestar de todos los usuarios que comparten el agua de riego. Sobre este principio el agua que no es aprovechada por los usuarios de aguas arriba, debe solidariamente, ser entregada en buena calidad a los usuarios de aguas abajo.

Otro aspecto que debe de considerarse en la operación del sistema durante el período de escasez es el reparto equitativo de los caudales, para lo cual debe de emplearse el turnado, el que debe ser apoyado con la elaboración de un rol de turnos.

4.2 Elementos que deben considerarse en la elaboración del plan de cultivo y riegos

Entre los elementos que intervienen principalmente en la elaboración del plan de cultivo y riegos tenemos:

- a. **El calendario agrícola:** El año agrícola puede iniciarse con el comienzo de las lluvias en setiembre, octubre o después que cesan los vientos en febrero. Considerando que en el Distrito de Riego Arenal, no hay problema temporal de disponibilidad de agua, se ha supuesto que el inicio del año agrícola coincide con el año calendario, porque en este mes algunos productores del Distrito riegan el arroz y los pastos, y también la tierra donde la caña se ha cosechado.
- b. **Disponibilidad de agua en la fuente:** En la primera etapa de riego, en el Distrito Arenal se utilizan las aguas del río Piedras para regar Bagatzí, río Cañas para regar San Luis y las aguas del trasvase que se recibe de la laguna Arenal y que son derivadas al Canal del Sur. Es importante calcular las disponibilidades mensuales, al 80% de

probabilidad, de los caudales que se presentan en los ríos Piedras y Cañas, medidos muy cerca a la estación de derivación. El canal del Sur puede recibir el caudal que acepte su capacidad.

- c. **Disponibilidad de la lluvia efectiva:** La lluvia efectiva es la parte de la lluvia caída en una zona que es aprovechada por los cultivos. Se calcula a partir de los registros existentes de las lluvias mensuales. Para cada mes se calcula la lluvia que tiene el 80%, de ocurrir y según el procedimiento del Servicio de Conservación de Suelos que usa la evapotranspiración y la lluvia, se determina la lluvia efectiva para cada mes (Anexo 1)
- c. **Capacidad de conducción de cada canal del Sector hidráulico:** Según el diseño debe de conocerse la capacidad máxima de cada canal que será empleado para regar el área que domina en concordancia con los cultivos que se sembrarán.
- e. **Eficiencia del Sistema:** Para cada cultivo y de acuerdo con la forma de aplicación del agua a la parcela, se usará una eficiencia de aplicación, también la eficiencia de distribución del agua y la eficiencia de conducción. El valor global de eficiencia permite conocer los caudales a derivar o a entregar al canal principal, a los secundarios y el que se debe entregar en la cabecera de la finca del usuario. Se debe estimular a los productores a aumentar sus eficiencias para hacer un mejor aprovechamiento del agua de riego.
- f. **La Cédula o patrón de cultivos tanto permanentes como anuales:** Cada productor debe presentar el conjunto de cultivos que desea sembrar en cada ciclo, indicando para cada uno las fechas de siembra y de cosecha, así como el período crítico de humedad.
- g. **La Evapotranspiración potencial (ETP) para la zona:** Es la evapotranspiración de un pasto que cubre la superficie del terreno, creciendo sin limitaciones de humedad. Existen varias fórmulas para estimar la evapotranspiración potencial a partir de datos climáticos, los cuales han sido deducidas mediante regresiones múltiples con datos medidos. Entre las más usadas está la fórmula de Penman modificada.
- h. **Los coeficientes culturales:** Se ha denominado coeficiente cultural K_c a la relación entre la evapotranspiración real del cultivo y evapotranspiración potencial $K_c = ETR/ETP$. k_c aumenta con el crecimiento del cultivo hasta un máximo que se produce en la época de mayor desarrollo del cultivo y luego decrece en las etapas de maduración.

- i. **La evapotranspiración real (ETR):** Es la cantidad de humedad que la planta requiere para realizar sus funciones como ser viviente. Se ha convenido en denominar uso consuntivo a la suma de la humedad necesaria para satisfacer la evapotranspiración real y la formación de los tejidos, propios de las plantas. Esta última parte es muy pequeña en relación con la primera, por lo que en general se considera que uso consuntivo y evapotranspiración real son sinónimos.

- j. **Las características hídricas de los suelos:** Su capacidad máxima de retención de humedad o capacidad de campo (C.C.), la capacidad mínima de humedad a la cual las plantas pueden extraer agua del suelo es el coeficiente de marchitez (CM). La diferencia de los dos nos da la humedad aprovechable (H.A.) cuyo total se considera como el 100%. La densidad aparente del suelo junto con la profundidad de humedecimiento nos permite hallar la lámina y el volumen de riego. En este caso se ha empleado el mes como período de tiempo, pero también se puede usar 15 o 10 días.

Además de lo indicado, deberá tenerse en cuenta las políticas nacionales del Sector Agropecuario sobre cultivos y épocas de siembra. Igualmente la preferencia del productor y la especialización de la zona juegan un rol importante en el establecimiento del Plan de Cultivo y Riegos.

V. EJEMPLO DE ELABORACION DE UN PLAN DE CULTIVO Y RIEGOS

En el cuadro 2 se presentan los datos de un plan de Cultivos y Riegos para una finca de 34 hectáreas en el área de San Luis, en el Distrito Arenal. Se trata de una porción de tierra que realiza agricultura de regadío con los tres (03) cultivos más importantes de la zona: el arroz, la caña de azúcar y los pastos (Fig 7). Para el ejercicio se concertó la obtención de los datos de base con el propietario de la finca. Para el servicio de operación, la obtención de los volúmenes a otorgar al usuario cada mes, le servirán para estimar los requerimientos mensuales, en cada canal secundario y en el canal principal lo que le permitirá programar las derivaciones de caudales y así saber cuales son las necesidades totales de riego para cada sector, las que comparadas con las probables disponibilidades nos guiarán para aprobar las áreas a cultivar en cada ciclo.

CUADRO NO. 2
ESTIMACION DE LOS REQUERIMIENTOS DE RIEGO Y DE LOS CAUDALES PARA EL PLAN
DE CULTIVO DE RIEGOS DE UNA FINCA DE 34 HECTAREAS EN EL DISTRITO ARENAL

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	195.3	196	226.3	195	155	132	139.5	148.8	129	124	135	179.8
Kc para el arroz	1.15	1.15	1.15	1.35	1.15	1.05	1.10	1.10	1.10	1.05	0.95	
Uso consuntivo mensual mm/mes	225.40	260.25	260.25	263.25	178.25	138.6	163.68	163.68	141.9	130.2	128.25	
Uso consuntivo diario mm/día	8.05	8.395	8.395	8.775	5.75	4.62	5.28	5.28	4.73	4.2	4.275	
Kc para la caña de azúcar	0.6	0.85	0.85	0.95	1.10	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	0.85	0.65
Uso consuntivo mensual mm/mes	117.18	166.6	192.55	185.25	170.5	151.8	160.425	171.12	148.35	142.6	114.75	116.87
Uso consuntivo diario mm/día	3.78	5.95	6.205	6.175	5.5	5.06	5.175	5.52	4.945	4.6	3.825	3.77
Kc para pastos	0.9	1.15	1.15	1.15	0.55	0.55	0.9	0.9	0.6	0.6	0.90	0.90
Uso consuntivo mensual mm/mes	175.77	225.4	260.24	224.25	85.25	72.6	125.55	133.92	77.4	74.4	121.5	161.82
Uso consuntivo diario mm/día	5.67	8.05	8.40	7.48	2.75	2.42	4.05	4.32	2.58	2.4	4.05	5.22
Precipitación media (80%) mm				5.00	115.00	160.00	75.00	122.5	165.00	212.5	18.00	
Precipitación efectiva mm					83.00	104.4	55.8	89.00	108.00	120.00	16.9	
Requerimiento neto de riego en arroz, mm					95.25	34.2	74.68	74.68	33.9	10.2	111.35	
Requerimiento neto de riego caña de azúcar, mm	117.18	166.6	192.55	185.25	87.5	47.4	104.625	82.12	40.35	22.6	97.85	116.87
Requerimiento neto de riego de pastos, mm.	175.77	225.4	260.245	224.25	2.25		69.75	44.92			104.6	161.82
Requerimiento bruto de riego en arroz (eficiencia 50%) mm		450.8	520.49	526.5	190.5	68.4	149.36	149.36	67.8	20.4	222.70	
Requerimiento bruto de riego en caña de azúcar (ef=0.65) mm	180.28	256.3	296.23	285.00	134.61	72.92	160.96	126.34	62.08	34.77	150.54	179.80
Requerimiento bruto de riego en pastos (ef=60%), mm	293.00	376.00	434.00	374.00	4.00		116.00	75.00			174.00	270.00
Volumen en m ³ /Ha. arroz	4,508	5,205	5,265	5,265	1,905	684	1,494	1,494	678	204	2,227	
Volumen en m ³ /Ha. azúcar	1,803	2,563	2,962	2,850	1,346	729	1,610	1,263	621	348	1,505	1,798
Volumen en m ³ /Ha. pastos	2,930	3,760	4,340	3,740	40		1,160	750			1,740	2,700
Volumen promedio/m ³ /Ha.	1,578	3,610	4,169	2,705	1,097	471	923	1,166	433	184	1,824	1,513
Caudal l/s-Ha.	0.59	1.49	1.56	1.04	0.41	0.18	0.34	0.44	0.17	0.07	0.7	0.56
Caudal para la finca l/s-34-Ha.	20	50.74	53	35.48	13.93	6.18	11.72	14.80	5.68	2.34	23.93	19.21
Caudal regando 12 horas	40	101.48	106	70.96	27.85	12.35	23.44	29.60	11.36	4.68	47.85	38.42
Si se recibe el agua c/dos días, con 12 horas de riego	80	202.96	212	141.92	55.70	24.70	46.88	59.20	22.72	9.36	95.7	76.84

VI. LA FRECUENCIA DE RIEGOS Y LOS VOLUMENES A APLICAR

6.1 Arroz

El arroz es un cultivo predominante en el Distrito Arenal. En los últimos años el porcentaje de tierras sembradas de arroz ha sido creciente. En 1990 la superficie sembrada de arroz constituyó el 63.55% de la tierra cultivada. Existe una tecnología, hay agua suficiente y los suelos favorecen la retención de la humedad; sin embargo, en ciertas áreas muy permeables los desperdicios excesivos del agua no los hacen apropiados para este cultivo.

6.1.1 Primer ciclo (enero-junio)

CAPACIDAD DE CAMPO(C.C.) = 30.83

COEFICIENTE DE MARCHITEZ PERMANENTE (CMP) = 18.25

HUMEDAD APROVECHABLE (HA) = 12.58

DENSIDAD APARENTE (Da) = 1.2

PROFUNDIDAD DE HUMEDECIMIENTO(P) = 0.18 m.

Lámina a aplicar para saturar el suelo:

$(12.58/100) \times 1.2 \times 0.18 = 0.0272 \text{ m.}$

Volumen a aplicar en el primer riego por hectárea:

$272 \text{ M}^3/\text{Ha}/0.5 = 544 \text{ M}^3/\text{Ha.}$ (0.5 es la eficiencia supuesta para el arroz).

Si se tienen 14 ha. sembradas de arroz el volumen que se aplicará será de: 7616 M³.

Tiempo de aplicación del agua de riego suponiendo bancales de 1 Ha. (100 m x 100 m).

Q (caudal de riego) si se dispone de 100 l/s. Cada ha. se regará en 1 hora, 30 minutos, 40 seg.

14 hectáreas pueden regarse en 21 horas, 11 minutos, 12 seg., es decir en 1 día, aproximadamente.

Intervalo de riego, Febrero:

El arroz que se siembra y germina en febrero no requiere lámina, de tal manera que el suelo debe mantenerse saturado los primeros 0.18 m. del perfil del suelo. Admitiendo que al primer riego el suelo se encuentra a coeficiente de marchitez, se requiere aplicar $544 \text{ m}^3/\text{Ha}$. (La eficiencia es de 50%). Cada riego sucesivo se aplica cuando se ha consumido el 50% de la humedad disponible, o sea 13 mm. Los riegos se aplicarán cada dos días, el primer riego tendrá una duración de 1 hora, 30 minutos y 40 segundos, cuando se emplea un caudal de 100 l/s. Teniendo en cuenta que la costumbre es mantener una entrada de agua continua y dejar pasar el agua de terraza en terraza. El riego podría ejecutarse cada dos días con un caudal continuo de 100 l/s durante aproximadamente 24 horas. El tiempo de riego para el área de riego es de 21 horas, 11 minutos y 40 segundos. En este mes el riego no será abundante pero sí frecuente para saturar el suelo. El volumen total de agua de riego será $544 \text{ m}^3 + 14(277) = 4422 \text{ m}^3/\text{Ha}$.

Intervalo de riego, Marzo:

Durante este mes el arroz requiere una lámina de mantenimiento que por el tamaño de la planta y el uso consuntivo podría considerarse de 5.4 cm. La presencia de la lámina asegura la saturación del suelo, de tal manera que si se repone la lámina periódicamente se satisfacen los dos componentes del consumo: la evapotranspiración y la infiltración; esta última la estimamos en 10 mm/día y la primera para marzo es de 8.05 mm. El consumo diario será de 18.05 mm/día. Si se acepta regar cada tres días se aplicará una lámina de 54 mm. El primer riego debe servir para saturar el suelo y formar la lámina; para este último se requiere $1080 \text{ m}^3/\text{Ha}$. y para la primera $483 \text{ m}^3/\text{Ha}$. (La eficiencia de aplicación se estima en 50%). Los siguientes nueve riegos serán de $1083 \text{ m}^3/\text{Ha}$. haciendo un total de $11230 \text{ m}^3/\text{Ha}$. El primer riego tendrá una duración de 4 horas, 20 minutos y 30 segundos y el área total se regará en 60 horas y 47 minutos. Los siguientes riegos se regarán en 3 horas y 20 minutos, y las 14 hectáreas se regarán en 46 horas y 40 minutos.

Intervalo de riego, Abril:

En este mes la lámina de mantenimiento se aumentará a 10 cm, la cual satisficará las demandas de infiltración y de evapotranspiración. Esta última se estima en 8.775 mm/día y la primera en 10 mm/día, o sea 18.775 mm/día. La lámina de agua de mantenimiento asegura la saturación del suelo. El riego sirve a la reposición de la lámina y puede espaciarse cada tres días, es decir aplicar una lámina de 5.6325 cm. Se

aplicarán 10 riegos, uno de 2320 m³/Ha. (2000 m³/Ha. para formar la lámina y 320 m³/Ha para saturar el suelo). Los nueve riegos restantes serán de 1126,5 m³/Ha. El volumen total de agua de riego en el mes será de 12458,5 m³/Ha.

El tiempo de aplicación para el primer riego con un caudal de 100 l/s será de 6 horas, 26 minutos y 40 segundos por hectárea y toda el área de arroz recibirá la lámina de 10 cm en 90 horas, 13 minutos y 20 segundos; es decir, en aproximadamente cuatro días. Los nueve riegos restantes se harán en 3 horas, 7 minutos y 45 segundos por hectárea y el área total se regará en 43 horas, 48 minutos y 30 segundos.

Intervalo de riego. Mayo:

En mayo se tiene el aporte de la lluvia. La precipitación efectiva al 80% de probabilidad es de 830 m³/Ha. El riego es complementario y sirve para reponer la lámina de mantenimiento que también debe ser de 10 cm. En este mes el uso consuntivo es de 5.75 mm/día y la infiltración de 10 mm/día. Por la presencia de la lluvia el intervalo de riego puede ser mayor y la reposición de la lámina puede hacerse en cuatro días, es decir cuando se ha reducido a $(100 - 4(15.75)) = 3.7$ cm. En este mes se observará la presencia de la lluvia para reducir la aplicación del riego. Consideremos la situación más desfavorable aquella en que no hay lluvia y usemos los 6.3 cm de lámina de riego que debemos aplicar, lo que equivale a 630 m³/Ha que, con una eficiencia de 50%, debemos aplicar 1260 m³/Ha.-riego, lo cual con un caudal de 100 l/s se hará en 3 horas y 30 minutos. Así el área de arroz se regará en 49 horas. Cada 3 horas y 30 minutos se abrirá el paso para regar la siguiente terraza; de esa manera el volumen de agua de riego mensual será de 10080 m³/Ha. Si lo restamos del volumen aportado por la lluvia se tendrá $10080 - 1660 = 8420$ m³/Ha.-mes.

Intervalo de riego. Junio:

En este mes el riego es complementario y según la época de siembra en junio, el arroz ya tiene 120 días, es decir esá próximo a ser cosechado. En este mes se retira la lámina de mantenimiento y el riego debe servir de complemento a la lluvia para satisfacer las necesidades fisiológicas del cultivo, el uso consuntivo se estima en 4.62 mm/día. La aplicación de dos riegos de 338 m³/Ha. responde a lo requerido. El tiempo de aplicación para un caudal de 100 l/s será de 56 minutos y 20 segundos y para regar el área de arroz durará: 13 horas y 8 minutos.

La aplicación del riego debe de obedecer a la observación del comportamiento de la lluvia.

Los volúmenes necesarios para el consumo de arroz, en m³/Ha. en el área de San Luis para el primer ciclo Febrero-Junio se resume así:

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL
-------	---------	-------	-------	------	-------	-------

Preparación:

1000	4422	11230	12458,5	8420	684	38214.5
------	------	-------	---------	------	-----	---------

Los consumos netos de evapotranspiración real para el arroz durante este período es de 87.8/mm. o sea 8781 m³/Ha. Es decir que la forma del manejo del riego como la hemos descrito en este documento requiere un volumen que es 4.25 veces mayor que el uso consuntivo. En el caso de riego permanente, con un caudal circulando las 24 horas del día, los volúmenes utilizados serán mucho mayor. Es importante resaltar esta situación para la especialización de la agricultura en Costa Rica. El tiempo de riego y la eficiencia dependen de la nivelación del terreno y del manejo del agua de riego. Si el perfil es impermeable y se reduce la infiltración a cero, se ahorrarían 100 m³/día que durante 90 días equivale a un volumen de riego de 18000 m³ = 2 (100 x 90), y el volumen de agua de riego para el primer ciclo de arroz será de 20214.5 m³/Ha.

6.1.2 Segundo ciclo (agosto-noviembre)

Es la época lluviosa, el riego sirve de complemento para asegurar la satisfacción de las necesidades hídricas del cultivo, así como para la realización de las labores culturales que faciliten la obtención de la cosecha.

Intervalo de riego. Julio: Aplicación de 1000 m³/Ha. para saturar la capa superior del suelo que ayudará a las operaciones mecanizadas de preparación.

Intervalo de riego. Agosto: El cultivo no requiere lámina y el agua debe servir a satisfacer los requerimientos fisiológicos del cultivo. El uso consuntivo es de 5.28 mm/día. De acuerdo con la capacidad retentiva del suelo y aplicando el agua cuando se ha consumido el 50% de la humedad

aprovechable, los riegos pueden darse cada 3 días para satisfacer un consumo de 15.84 mm, equivalente a un volumen neto de 158.4 m³/Ha. y un volumen bruto de 316.8 m³/Ha. Se aplicarán 10 riegos de 316.8 m³/Ha. o sea un volumen mensual de 3168 m³/Ha. menos el aporte directo de la lluvia de 1780 m³/Ha.-mes, resulta en un volumen de riego de 1388 m³/Ha. El tiempo de riego para aplicar 316.8 m³/Ha. con un caudal de 100 l/s es de 52 minutos y 48 segundos y el área arrocerá se regará, aproximadamente, en 14 horas. Debemos resaltar que la aplicación de 316.8 m³/Ha. supone que no hay lluvia. De acuerdo con las observaciones meteorológicas la lluvia efectiva para este mes es de 89 mm. o sea 890 m³/Ha., lo que equivale a un volumen de riego de 1780 m³/Ha., de tal manera que se requiere hacer el seguimiento de la humedad del suelo para aplicar el riego.

Intervalo de riego, Setiembre: La lluvia efectiva es de 108 mm lo que equivale a un volumen de riego de 2160 m³/Ha. El arroz requiere una lámina de 5 cm., el uso consuntivo es de 4.783 mm/día y la infiltración de 10 mm/día, es decir, un consumo total de 14.73 mm. La lámina de mantenimiento asegura la saturación del suelo si se estima regar cada tres días se requiere aplicar 44.19 mm por riego equivalente a 884 m³/Ha. Si se considera una eficiencia de 50%. El primer riego debe servir a saturar el suelo (4.73 mm/día x 3 = 14.19 mm), 142 m³/Ha. o sea un volumen de riego de 282 m³/Ha. Para lograr la lámina de mantenimiento de 5 cm se requiere 1000 m³/Ha. El primer riego necesita 1282 m³/Ha. Con un caudal de 100 l/s, la duración del riego será de 3 horas, 33 minutos y 40 segundos y para las 14 hectáreas de arroz durará 49 horas, 51 minutos y 20 segundos. Los otros riegos de 884 m³/Ha. tendrán una duración de 2 horas, 27 minutos y 20 segundos y para las 14 hectáreas será de 24 horas, 24 minutos y 18 segundos. El volumen de agua de riego será de (884 x 9 + 1282) - 2160 = 7078 m³/Ha.

Intervalo de riego, Octubre: Este mes es lluvioso. La precipitación efectiva se estima en 120 mm equivalente a 2400 m³/Ha. de volumen de agua de riego. El uso consuntivo es de 4.2 mm y la infiltración la estimamos en 10 mm/día, luego el consumo diario es de 14.2 mm. En este mes la lámina se aumenta a 10 cm. Teniendo en cuenta la presencia de la lluvia el riego se puede espaciar cada 5 días lo que significa un consumo de 71 mm, equivalente a un volumen de riego de 1420 m³/Ha. El primer riego requiere aumentar la lámina de 5.81 mm a 100 mm lo que necesita un volumen de riego de 1883.8 m³/Ha. que con un caudal de 100 l/s tendrá una duración de 5 horas, 13 minutos y 58 segundos y para las 14 hectáreas se necesitará 73 horas, 15 minutos y 32 segundos. Los riegos de 1420 m³/Ha. tendrán una duración de 3 horas, 56 minutos y 40 segundos y para el área arrocerá de 55 horas, 13 minutos y 20 segundos. El volumen

de riego para el mes será de $1883.8 + 5 (1420) - 2400 = 6.584 \text{ m}^3/\text{Ha}$.

Intervalo de riego, Noviembre: La precipitación efectiva es de 16.9 mm equivalente a un volumen de riego de $338 \text{ m}^3/\text{Ha}$. El uso consuntivo se estima en 4.275 mm y la infiltración en 10 mm/día. El consumo diario es de 14.275 mm. Si el intervalo de riego es de 4 días la lámina a reponer será de $1142 \text{ m}^3/\text{Ha}$. Con un caudal de 100 l/s el tiempo de riego por hectárea será de 3 horas 10 minutos y 20 segundos y el área arrocerá se regará en 44 horas, 24 minutos y 40 segundos.

El volumen de agua requerido en este mes será de $7.5 (1142) = 8565 \text{ m}^3/\text{Ha}$. menos el equivalente del aporte de la lluvia será de $8565 - 338 = 8227 \text{ m}^3/\text{Ha}$.

El consumo de agua en el ciclo será de:

JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	TOTAL
1000	1388	7078	6584	8227	24477

El consumo de agua en el segundo ciclo es de $13937.5 \text{ m}^3/\text{Ha}$. menor que en el primer ciclo, diferencia que correspondería al aporte de la lluvia, si le restamos los $18000 \text{ m}^3/\text{Ha}$. que significa la infiltración el consumo por riego se reduce a $6277 \text{ m}^3/\text{Ha}$. Los consumos netos de evapotranspiración para el período es de $5640 \text{ m}^3/\text{Ha}$. El volumen aplicado de riego bajo esta modalidad es 4.3 veces mayor.

En el caso de riego permanente, con el agua circulando todo el tiempo el consumo es mucho mayor. Es muy conveniente llevar a cabo estudios a escala comercial para proponer la reducción del consumo de agua, la cual debe hacerse en primera instancia encaminados a mejorar la eficiencia y seleccionando los suelos cuyo perfil posea una capa arcillosa cercana a la superficie para reducir la velocidad de infiltración. De lo contrario el cultivo de arroz reducirá el área cultivada en el Distrito de Riego Arenal. Si suponemos que cada hectárea de arroz consume 40000 m^3 , en 4 meses equivale a 3.86 l/s-Ha . y los $85 \text{ m}^3/\text{s}$ solo regarían 22020 Ha. en lugar de 60000.

6.2 Caña de azúcar

En el Distrito de Riego Arenal, el período vegetativo de la caña de azúcar es de 12 meses. Se riega por surcos y responde bien a las aplicaciones del riego. La producción relativa se ve favorecida si el suelo presenta un alto contenido de humedad cubre el segundo y cuarto mes de crecimiento. El

drenaje es muy importante para la madurez de la caña y concentrar el contenido de sacarosa.

Antes de la cosecha se corta el riego de tal manera que para el rebrote o para la siembra hay que saturar el suelo.

Las constantes hídricas son:

CAPACIDAD DE CAMPO = .38

COEFICIENTE DE MARCHITEZ = .24

DENSIDAD APARENTE = 1.2 gramos/cm³

PROFUNDIDAD DE HUMEDECIMIENTO = 0.4 m.

La lámina de agua a aplicar para saturar los 0.4 m del perfil del suelo:

$$H = 0.14 \times 1.2 \times 0.4 = 0.0674 \text{ m}$$

Volumen bruto por aplicar para saturar el suelo

$$V = (0.0674 \times 10000)/0.65 = 1037 \text{ m}^3/\text{Ha.}$$

0.65 es la eficiencia de aplicación en el riego de la caña de azúcar.

El segundo riego se aplicará cuando se ha consumido el 50% de la humedad aprovechable en los 0.40 m del perfil del suelo o sea

$$H = 0.0337 \text{ m}$$

$$\text{Volumen bruto} = (0.0337 \times 10000)/0.65 = 518 \text{ m}^3/\text{Ha.}$$

Intervalo de riego, Enero:

El consumo del agua en enero para la caña es de 3.78 mm es decir que los 33.7 mm, se consumirán en 9 días. En enero se aplicarán 1 riego de 1037 m³ y 2 riegos de 518 m³/Ha. o sea un volumen total de 2073 m³/Ha.

El riego se hará por medio de sifones. En promedio 2.5 l/s-sifón.

Si cada surco tiene 100 m de largo y el espaciamiento entre surcos es de 1.5 m se deberán regar $100/1.5 \text{ m} = 67$ surcos. Cada surco debe humedecer una área de 150 m², es decir recibir 7.770 m³, cada surco debe regarse en 51 minutos, 48 segundos aproximadamente una hora un regador puede poner en

funcionamiento 66 sifones por hora o sea regar una hectárea por hora, o sea 10 hectáreas por día de 10 horas. Las 14 hectáreas de caña de azúcar puedan regarse en 1,5 días.

Intervalo de riego, Febrero:

La profundidad de humedecimiento pueda aumentarse a 0.5 m luego la lámina por aplicar será de:

$$H = 0.07 \times 1.2 \times 0.5 = 0.042 \text{ m.}$$

El volumen bruto por aplicar por riego con 65% de eficiencia será de 646 m³/Ha. El uso consuntivo para este mes de 5.95 mm/mes, luego las 42 mm pueden abastecer el consumo de agua por 7 días lo que significa 4 riegos por mes. La aplicación por hectárea será de 646 x 4 = 2584 m³/Ha.-mes. El volumen por surco será de 9.690 m³, con un caudal de 2.5 l/s el riego demandará una duración de 1 hora, 4 minutos y 24 segundos. Aproximadamente 1 hora por surco.

Intervalo de riego, Marzo:

En marzo la profundidad de humedecimiento puede ser también de 0.5 m y el volumen por aplicar por riego será de 646 m³/Ha. y la lámina de 42 mm. El uso consuntivo para este mes es de 6.2 mm/día. El riego permitirá un intervalo de 4.2/6.2 = 6.7 aproximadamente 7 días por riego y se aplicarán 4 riegos en el mes o sea un volumen de 646 x 4 = 2584 m³/Ha.-mes.

Intervalo de riego, Abril:

En abril la profundidad de humedecimiento será de 0.60 m y el volumen por aplicar por riego será de

$$(0.07) (1.2) 0.6 = 0.056 \text{ m}$$

El volumen bruto por aplicar por riego con una eficiencia de 65% será de 778 m³/Ha. El uso consuntivo para abril se estima en 6.175 mm/día, lo que permitirá un intervalo de riego de 8 días o sea 4 riegos por mes con una aplicación mensual de 778 x 4 = 3112 m³/Ha.-mes. El tiempo de riego por surco para un caudal de 2.5 l/s será de 1 hora, 17 minutos y 48 segundos. Una hectárea puede regarse aproximadamente en 1 hora y 30 minutos empleando los 66 sifones.

Intervalo de riego, Mayo:

En mayo, la lluvia efectiva es importante, 83 mm. La humedad es vital para el crecimiento de la caña y el agua de riego juega un papel muy importante. La profundidad de humedecimiento es de 0.6 m y el volumen por aplicar por riego cuando se ha consumido el 50% de la humedad aprovechable es de 778 m³. El volumen mensual a aplicar será de 3112 m³ - 1277 m³ = 1835 m³/Ha.-mes. Hay que hacer hincapié que la lluvia se presenta al azar por lo que es necesario darle seguimiento al contenido de humedad para decidir sobre la época más conveniente de regar así como sobre la duración del riego en cada surco.

Intervalo de riego, Junio:

La precipitación efectiva es de 104.4 mm equivalente a un volumen de 1044 m³/Ha. y un volumen de riego de 1606 m³/Ha.-riego. Para este mes la profundidad de humedecimiento es de 0.7 m y la lámina por aplicar por riego para saturar el 50% de la humedad aprovechable será de:

$$H = 0.07 \times 1.2 \times 0.7 = 0.0588 = 588 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

El volumen por aplicar en cada riego será de 905 m³/(Ha.-riego).

El uso consuntivo para junio es de 5.06 mm/día luego el intervalo de riego será de 58.8/5.06 = 11.6 equivalente 12 días. Lo que equivale a 2.5 riegos o sea un volumen de riego de 2262.5 m³ a lo cual debemos restarle el aporte de la lluvia efectiva (1606 m³) de tal manera que el riego solo debe aportar 656.5 m³/Ha. Para que esto ocurra así es necesario hacer un seguimiento a la humedad del suelo a fin de determinar el volumen y la época en que debe aplicarse el riego.

Intervalo de riego, Julio:

La precipitación es de 55.8 mm o sea un volumen de 558 m³/Ha. equivalente a un volumen de riego de 1116 m³/Ha. La profundidad de humedecimiento es de 0.7 m. La lámina para aplicar y saturar el 50% de la humedad aprovechable es de 58.8 mm o sea 588 m³/Ha. y un volumen por riego para una eficiencia de 0.65 de 905 m³/(Ha.-riego). El uso consuntivo para este mes es de 5.175 mm/día o sea que el intervalo de riego es de 11.36 días o sea 11 días, 3 riegos por mes de 905 m³/Ha.-riego o sea un volumen requerido de 2715 menos el aporte de la lluvia será de 1599 m³/Ha. Para que el riego se pueda controlar es necesario darle seguimiento a la humedad del suelo para determinar el momento del riego así como el volumen a aplicar.

Intervalo de riego. Agosto:

En agosto, la precipitación efectiva es de 89 mm o sea 890 m³/Ha. equivalente a un volumen de riego en caña de azúcar de 1369 m³/Ha. La profundidad de humedecimiento es de 0.8 m y la lámina de humedecimiento será de:

$$H = 0.07 \times 1.2 \times 0.8 = 0.0672 = 672 \text{ m}^3/\text{Ha.}$$

equivalente a una lámina de riego en caña de 1034 m³/Ha. El uso consuntivo para el mes es de 5.52 mm/día. El intervalo de riego para esas condiciones es de $67.2/5.52 = 12.17$ días.

Considerando que el suelo saturado reduce su humedad aprovechable a 50% en 12 días lo que requeriría de 2.5 riegos por mes, es decir, la aplicación de un volumen de $1034 \times 2.5 = 2585 \text{ m}^3$, menos los aportes de la lluvia efectiva se aplicarían 1216 m³/Ha. Al igual que en todo el período de lluvia es conveniente darle seguimiento a la humedad del suelo que es la que nos guiará para determinar el momento del riego.

Intervalo de riego. Setiembre:

En setiembre, la precipitación efectiva es de 108 mm o sea un volumen de 1089 m³/Ha., equivalente a un volumen de riego de 1662 m³/Ha. La profundidad de humedecimiento es de 0.80 m. La lámina de riego por aplicar en cada riego es de 67.2 mm. El uso consuntivo es de 4.945 mm/día lo que permitirá un intervalo de $67.2/4. = 13.58$ aproximadamente 14 días y se aplicarán dos riegos por mes o sea un volumen total en el mes de $1034 \times 2 = 2068 \text{ m}^3$ menos el volumen equivalente de riego aportado por la lluvia resulta en volumen de riego de 406 m³/Ha., lo cual significa que la lluvia efectiva juega un papel importante en este mes, sin embargo su ocurrencia es muy aleatoria por lo que se requiere un seguimiento de la humedad del suelo para determinar cuando y como regar.

Intervalo de riego. Octubre:

La precipitación efectiva es de 120 mm o sea 1200 m³/Ha. equivalente a una aplicación del riego en caña de 1846 m³/Ha. La profundidad de humedecimiento es de 0.9 m. La lámina por aplicar para saturar el suelo es de:

$$H = 0.07 \times 1.2 \times 0.9 = 0.0756 = 756 \text{ m}^3/\text{Ha.}$$

Esto requiere un volumen de aplicación del riego de 1163 m³/Ha.-riego. El uso consuntivo para este mes es de 4.6 mm/día lo que permitiría un intervalo de riego de $75.6 \text{ mm}/4.6 = 16$ días. Es decir 2 riegos por mes, lo que exige un

volumen de $1163 \times 2 = 2326 \text{ m}^3/\text{Ha.}$, si se tiene en cuenta el equivalente de riego de la lluvia. El requerimiento de riego en volumen será de $480 \text{ m}^3/\text{Ha.}$ Para que el riego pueda reducirse a esa cantidad es necesario hacer un seguimiento del contenido de humedad del suelo con el fin de decidir en que momento regar y que volumen aplicar. También se dosificará el tiempo de riego en los surcos.

Intervalo de riego. Noviembre:

En noviembre la precipitación efectiva es baja pero la caña de azúcar requiere poca agua. Hay que favorecer la concentración de sacarosa en estos dos últimos meses (noviembre y diciembre). El uso consuntivo es de 3.825 mm/día , si se aplican 75.6 mm . El intervalo de riego puede ser de $75.6/3.825 = 20 \text{ días}$, se darían 2 riegos de $1163 \text{ m}^3/\text{Ha.}$ o sea $2326 \text{ m}^3/\text{Ha.}$

Intervalo de riego. Diciembre:

Es un mes de maduración de la caña y por lo tanto no se riega. La caña de azúcar durante su período vegetativo recibe los aportes de la lluvia, las cuales son aleatorias y requieren de un seguimiento mediante muestreos de la disminución del contenido de humedad del perfil del suelo, a fin de aplicar el riego cuando se obtenga la mayor respuesta.

Para que una superficie cultivada pueda regarse convenientemente se requiere que la superficie del terreno haya sido nivelada y que tenga una pendiente en el sentido del flujo y que el caudal sea suficiente para hacer avanzar el frente húmedo superficial.

El volumen de agua de riego requerido para la caña de azúcar en el Distrito Arenal, en $\text{m}^3/\text{Ha.}$ es:

Enero:	2073
Febrero:	2584
Marzo:	2584
Abril:	3112
Mayo:	1835
Junio:	656.5
Julio:	1599
Agosto:	1216
Setiembre:	406
Octubre:	480
Noviembre:	2326

18871.5

La caña se riega por surcos y debe sembrarse en terrenos de buen drenaje o ayudar al drenaje natural mediante la colocación de drenes subterráneos entubados, que permiten acelerar el descenso de la napa freática asegurando la concentración de sacarosa.

Para lograr una buena repartición del contenido de humedad por efecto del riego, hay que determinar la longitud adecuada del surco en concordancia con el caudal a aplicar en cada surco. Ejemplo: si se tiene surcos de 150 m de largo separados 1.50 el área humedecida por cada surco será de 225 m² y el número de surcos por hectárea es de 45. Si se requiere 324 m³/Ha., a cada surco se le aplicará $324000/45 = 7.200$ litros, si se dispone de un sifón que conduce 2 l/s. El tiempo de riego por surco será de 1 hora. Si el grupo de 2 regadores maneja 10 sifones por tendida, podría regar dos hectáreas por día. Esta mecánica requiere la disponibilidad de los sifones y la construcción de una acequia regadora que permita suministrar 2 litros por segundo por sifón. Con mayor número de sifones y mayor caudal se puede regar con mayor eficiencia.

6.3 Pastos

La provincia de Guanacaste es tradicionalmente ganadera, los pastos de corte no han tenido mucho auge, pero el riego se está introduciendo progresivamente.

El pasto se riega por inundación y el ganado lo consume en el lugar. El suelo donde se siembra el pasto tiene las siguientes características hídricas.

CAPACIDAD DE CAMPO = 28.39%

COEFICIENTE DE MARCHITEZ = 13.30%

HUMEDAD APROVECHABLE = 15.09%

DENSIDAD APARENTE = 1.21 gramos/cm³

En el caso de la fórmula para el cálculo de la lámina de agua se emplea la densidad relativa que es la densidad aparente del suelo dividida por la densidad del agua. El resultado es un valor adimensional.

PROFUNDIDAD DE HUMEDECIMIENTO = 0.4 m.

Lámina de agua para saturar el suelo hasta la profundidad de humedecimiento:

$$H = 0.1509 \times 1.21 \times 0.40 = 0.0730 \text{ m} = 730 \text{ m}^3/\text{Ha.}$$

La lámina bruta a aplicar será $730/0.6 = 1217 \text{ m}^3/\text{Ha.}$

(0.6 es la eficiencia que se ha considerado para el riego del pasto)

Si se riega cuando el contenido de humedad aprovechable se reduce al 40% la lámina de agua a aplicar será:

$$H = 0.6 (730) \text{ m}^3/\text{Ha.} = 375 \text{ m}^3/\text{Ha.}$$

La lámina bruta a aplicar con 60% de eficiencia será de 625 m³/Ha.

Intervalo de riego, Enero:

La precipitación efectiva es nula. El uso consuntivo es de 5.67 mm/día . Lo que nos permite un intervalo de riego de $37.5/5.67 = 7$ días. Se aplicarán 4 riegos: uno de 1217 m³/Ha. y 3 de 625 m³/Ha. es decir: 3092 m³/Ha.

El tiempo de duración del riego, empleando un caudal de 100 l/s será de 3 horas, 31 minutos y 40 segundos y las 6 hectáreas se regarán en 21 horas y 10 minutos, o sea que el pasto puede regarse en un día de 24 horas para facilitar el riego del pasto hay que nivelar el terreno y también regar de las partes más altas a las bajas. Cuando se aplica 625 m³/Ha. el tiempo de riego será 1 hora, 44 minutos y 10 segundos.

Para las 6 hectáreas el tiempo de riego es de 10 horas y 25 minutos. Los tiempos estimados son teóricos y sirven de referencia para medir la eficiencia del tiempo de riego real por razones del caudal y de la topografía.

Intervalo de riego, Febrero:

No hay precipitación efectiva. El uso consuntivo del pasto es de 8.05 mm/día. Los 37.5 mm nos permiten un intervalo de riego de 5 días luego se darán 6 riegos de 625 m³/Ha. o sea 3750 m³/Ha.

Intervalo de riego, Marzo:

No hay precipitación efectiva. El uso consuntivo del pasto es de 8.40 mm/día. El intervalo de riegos será de 5 días o sea 6 riegos en el mes. Un volumen de 3750 m³/Ha.

Intervalo de riego, Abril:

La precipitación efectiva es nula y el uso consuntivo es de 7.48 mm/día. El intervalo de riego es de 5 días, se darán 5 riegos en el mes, lo que requiere un volumen de 3750 m³/Ha.

Intervalo de riego, Mayo:

La precipitación efectiva es de 83 mm. El uso consuntivo para el mes es de 2.75 mm/día. El intervalo de riego será de 14 días, se darán 2 riegos al mes o sea un volumen de $625 \text{ m}^3/\text{Ha.} \times 2 = 1250 \text{ m}^3$.

La precipitación efectiva es equivalente a un volumen de riego de $1383 \text{ m}^3/\text{Ha}$. Si la lluvia fuese uniforme no habría necesidad de aplicar el riego pero debido a su carácter aleatorio es que será necesario proveer el riego y también seguir la variación del contenido de humedad a fin de determinar el momento adecuado del riego, así como la cantidad a aplicar.

Intervalo de riego, Junio:

La precipitación efectiva es de 104.4 mm que teóricamente cubre las necesidades de cultivo cuyo uso consuntivo es de 2.42 mm/día, lo que permitiría un intervalo de riego de 15 días y admitiría 2 riegos en el mes o sea un volumen de aplicación de $1250 \text{ m}^3/\text{Ha}$. No se puede confiar en que la lluvia se presentará cuando las plantas requieren la humedad. El seguimiento de la humedad del suelo y aplicaciones ligeras pueden ayudar a economizar el volumen de agua aplicado por el riego en este mes.

Intervalo de riego, Julio:

La precipitación efectiva es de 55.8 mm. El uso consuntivo es de 4.05 mm/día lo que permite un intervalo de riego de 9 días, o sea que se requieren 3.5 riegos en el mes de $625 \text{ m}^3/\text{Ha}$. equivalente a un volumen de $2188 \text{ m}^3/\text{Ha.}-$ riego.

La precipitación efectiva equivale a un volumen de riego de $930 \text{ m}^3/\text{Ha.}$, luego el requerimiento de riego sería de $1258 \text{ m}^3/\text{Ha}$.

Intervalo de riego, Agosto.

La precipitación efectiva es de 89 mm equivalente a un volumen de riego de $1483 \text{ m}^3/\text{Ha}$. El uso consuntivo para el pasto es de 4.32 mm/día lo que permitiría un intervalo de riego de 9 días y se requiere 3.5 riegos en el mes lo que equivale a un volumen de $2188 \text{ m}^3/\text{Ha}$. Si se tiene en cuenta el volumen equivalente de riego aportado por la lluvia, el requerimiento de riego será de $705 \text{ m}^3/\text{Ha}$.

Intervalo de riego, Setiembre:

La precipitación efectiva es de 108 mm que equivale a un volumen de riego de 1767 m³/Ha. El uso consuntivo es de 2.58 mm/día lo que permitiría un intervalo de riego de 15 días. Es decir, que se requerían dos riegos para satisfacer las necesidades hídricas de los pastos en este mes. Las observaciones conducen a creer que la probabilidad de tener una precipitación de 108 mm en el mes es superior al 80%. La mejor protección es el seguimiento del comportamiento del contenido de humedad del suelo.

Intervalo de riego, Octubre:

La precipitación efectiva es de 120 mm equivalente a un volumen de riego de 2000 m³/Ha. El uso consuntivo es de 2.4 mm/día lo que permitiría un intervalo de 16 días. Se requieren dos riegos por mes lo que demandaría 1250 m³/Ha. Teniendo en cuenta la presencia de la precipitación efectiva, ésta cubre plenamente los requerimientos de riego, sin embargo hay que tener en cuenta el carácter aleatorio de la lluvia.

Intervalo de riego, Noviembre:

La precipitación efectiva es de 16.9 mm equivalente a un volumen de riego en pastos de 282 m³/Ha. El uso consuntivo es de 4.05 mm/día lo que permitiría un intervalo de riego de 9 días debiendo aplicarse 3.5 riegos en el mes con un volumen mensual de 2188 m³/Ha. menos los aportes de la lluvia se requieren 1906 m³/Ha.

Intervalo de riego, Diciembre:

La precipitación efectiva es nula. El uso consuntivo es de 5.22 mm/día lo que permite un intervalo de riego de 7 días, lo que exige la aplicación de 4.5 riegos equivalente a un volumen de 2813 m³/Ha.

Los volúmenes de agua requeridos en m³/Ha. son:

Enero:	3092
Febrero:	3750
Marzo:	3750
Abril:	3750
Mayo:	----
Junio:	----
Julio:	1258
Agosto:	705
Setiembre:	----
Octubre:	----
Noviembre:	1906
Diciembre:	2813
TOTAL	21024 m³/Ha.

El análisis del plan de cultivo y riegos que hemos presentado se ha basado en la hipótesis que la eficiencia de uso del agua en el cultivo es de 50% para el arroz, lo cual supone terrenos apropiados y nivelados para este cultivo, así como dimensiones de la unidad de riego concordante con el caudal de aplicación y que los bordos son herméticos, que no hay pérdida superficial de agua.

El 65% para la caña de azúcar, lo que indica que se riega por surcos, los cuales tienen la capacidad y la longitud para conducir el volumen de agua que permite humedecer el suelo convenientemente.

El 60% para los pastos, lo cual admite que el terreno está nivelado y que el agua se desplaza convenientemente sobre la superficie sin almacenamiento ni pérdidas superficiales.

También se admite que la precipitación que puede ocurrir en cada mes tiene el 80% de probabilidad y que los valores de precipitación efectiva calculados usando el método del servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos, son aplicables a la finca objeto de estudio. La finca posee 34 hectáreas cultivadas bajo riego, de los cuales 14 son de arroz, 14 ha. de caña de azúcar y 6 de pastos.

Los volúmenes de agua a aplicar, el número de riegos por mes, los intervalos de riegos suponen que no hay aportes ni de las otras fincas ni del agua subterránea, lo cual requiere ser verificado porque siempre hay influencia entre ellas. (La práctica del riego incontrolado provoca la subida del manto freático, en las áreas regadas del Distrito Arenal, por esta razón debe vigilarse

el agua subterránea para programar los volúmenes de agua superficial a aplicar en cada riego.

Lo realizado para la finca del ejercicio debe de repetirse, para todas las fincas. Las necesidades totales son contrastadas con las disponibilidades (ambas expresadas) en las mismas unidas, para determinar la aprobación del área a sembrar en cada ciclo del año agrícola. Si las necesidades son menores que las disponibilidades, el plan se ejecutará. De lo contrario si las disponibilidades son menores que las necesidades, debe de reducirse el área, esta situación requiere criterios de base, flexibles para la toma de decisiones, cuya aplicación debe de enmarcarse dentro de un contexto integral. Un ejemplo de prioridades podría ser:

- Cultivos permanentes (frutales)**
- Pastos (alimentación del ganado)**
- Cultivos de mayor rentabilidad social**
- Cultivos más sensibles a la falta de humedad**
- Cultivos tolerantes al déficit hídrico**

Según las circunstancias, unos criterios prevalecerán sobre los otros. En lo que respecta al porcentaje de área a reducir de cada productor, también se requiere de guías orientadoras por ejemplo sólo reducir las áreas grandes cuyos propietarios serían menos afectados o también hacerlo proporcionalmente al área que posee el productor.

La situación de escasez obliga a la concertación a la cual contribuye eficazmente la junta de regantes, de cuyo fortalecimiento depende la solución de gran parte de los problemas que se presentan en la agricultura de regadío, una buena razón para que el Distrito Arenal encamine sus esfuerzos para lograr su constitución.

Los volúmenes y caudales operativos que la finca requiere para regar los cultivos indicados son:

CULTIVO	ENER.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DEC.
Arroz	1000	4422	11230	12458.4	8420	684	1000	1388	7078	6584	8227	----
Caña	2073	2584	2584	3112.0	1835	656.5	1599	1216	406	480	2326	----
Pastos	3092	3750	3750	3750	----	----	1258	705	----	----	1906	2813
Total	6165	10756	28320	19320.5	10255	1340	3157	3309	7484	7064	12459	2813
Promedio	2055	3585.3	9440	6440	3418	447	1286	1103	2495	2355	4153	938
Caudal l/s Permanente	26	51	120	85	43	6	16	14	33	30	55	12
Número de Horas si recibe 100 l/s	6.24	12.24	----	20.4	10.32	1.44	3.84	3.36	7.92	7.2	13.2	2.88

VII. CONCLUSIONES

- 1. La agricultura de regadío pone en funcionamiento un conjunto de elementos ligados al suelo, al clima, a la planta y al agua, los cuales deben intervenir apropiadamente, orientados a lograr los máximos beneficios de los productores.**
- 2. Los productores agrícolas deben de considerar su actividad enmarcada dentro de un contexto de largo plazo y de desarrollo sostenible, lo cual lleva implícito la conservación de la capacidad productiva de los suelos.**
- 3. La observación cuidadosa del comportamiento de los elementos de la producción, es el mejor medio de aprendizaje y que permite hacer la mejor utilización. Por ejemplo: aplicar el riego y los fertilizantes a una determinada época del cultivo y observar su respuesta en el rendimiento; ayudará a programar estas tareas para los tipos de suelos que se disponga.**
- 4. La interacción suelo-agua-planta-atmósfera, es muy compleja y cambia de un lugar a otro, de tal modo que la transferencia de tecnología debe de pasar por la validación en el lugar, antes de ser difundida a gran escala.**
- 5. El manejo de la agricultura de regadío debe de tratarse de manera integral para toda el área, porque lo que se haga en una finca influye en las que se encuentran a su alrededor, ya que hay comunicación tanto superficial como subterránea entre todas ellas, especialmente si son parcelas pequeñas como es el caso de las fincas de los beneficiarios del IDA por lo que la administración puede verse favorecida si los pequeños productores se organizan en Asociaciones o Cooperativas; así pueden coordinar la ejecución de las tareas en función del bienestar común.**
- 6. El contenido de este documento está orientado a que el productor agrícola con riego, tome conocimiento de que el suelo no es un reservorio ilimitado y que la humedad del suelo debe de ser manejada para establecer la frecuencia de riegos y que según el desarrollo del cultivo; se calcule el volumen de agua a aplicar.**
- 7. Dentro del marco comunal en que debe desarrollarse la agricultura de regadío el plan de cultivo y riegos es una buena herramienta para ordenar la distribución del agua disponible.**

VIII. BIBLIOGRAFIA

- **Doorembos y Pruitt 1977. Boletín 24 de la colección de Riego y Drenaje de la FAO. Las necesidades de Agua de los Cultivos.**
- **Soil Conservation Service. (SCS), 1969 United States Department of Agriculture (U.S.D.A.). National Engineering Handbook. Section 15. Chapter 1. Soil, water and plant relationship.**

ANEXOS

ESTACION: TABOSA
 HORIZON: 076000

LAT.: 10 21
 LONG.: 85 09

ELEV.: 40 MTS.
 INSTITUCION: SZHAMA

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL ANUAL
1970	0.0	0.0	28.8	64.6	136.0	159.1	210.7	207.7	384.9	495.7	76.9	27.8	1792.2
1971	6.5	55.4	0.0	147.8	213.0	265.6	72.2	203.8	549.3	443.3	19.4	0.0	1976.3
1972	17.6	0.0	36.6	28.8	327.2	207.6	58.8	101.2	145.6	68.8	251.2	39.2	1282.6
1973	0.0	0.0	14.5	27.8	205.4	473.8	147.6	345.3	323.7	437.7	100.7	2.2	2006.7
1974	0.3	0.0	0.2	33.5	292.2	329.5	150.7	100.6	360.5	209.1	6.1	11.1	1693.8
1975	0.0	0.0	0.0	0.0	84.6	136.8	134.8	213.8	343.5	311.7	244.8	0.0	1470.0
1976	0.0	0.0	0.0	8.1	214.5	243.0	46.8	157.8	93.9	372.6	66.9	0.0	1203.6
1977	0.0	0.0	0.0	30.0	136.2	100.1	33.8	182.6	238.2	247.3	197.4	5.5	1251.1
1978	0.0	0.0	25.6	9.3	400.5	208.9	99.5	304.1	349.9	559.7	16.6	80.1	2054.0
1979	0.0	0.0	1.7	135.8	190.4	331.1	124.5	299.6	443.9	341.8	117.9	30.7	2028.4
1980	5.2	3.3	0.5	16.3	229.3	193.6	232.9	240.1	276.3	303.3	329.5	10.3	1920.6
1981	0.0	0.0	16.8	37.0	412.4	417.8	129.1	400.4	339.7	433.6	42.3	22.1	2251.2
1982	1.4	0.0	0.0	58.6	466.5	153.0	115.5	52.8	378.3	237.7	50.1	0.0	1513.9
1983	0.0	21.8	11.3	16.4	49.9	266.9	149.4	204.8	199.7	258.6	112.3	0.3	1299.4
1984	0.5	101.2	31.5	98.2	89.2	180.7	200.4	137.5	343.4	110.4	94.7	3.6	1471.3
1985	1.6	0.0	0.0	56.5	215.3	303.7	167.2	160.1	146.6	262.6	51.9	0.0	1373.5
1986	0.0	- 9	1.4	2.0	311.7	200.9	33.3	116.6	130.6	207.7	32.9	1.2	1126.3
1987	0.0	0.0	37.10	3.40	102.3	90.00	332.30	49.50	170.20	185.40	12.20	25.50	1016.70
1988	0.4	0.0	67.50	40.30	263.10	468.5	154.30	440.2	496.50	390.50	68.80	1.5	2391.60
1989	0.0	0.0	1.0	0.0	96.10	378.1	227.60	201.00	294.70	228.40	90.00	65.50	1501.50
1990	0.0	0.0	0.0	27.20	239.50	115.40	130.20	149.29	222.50	325.40	129.70	12.8	1351.99
1991	10.60	0.0	17.90	13.80	226.2	231.2	72.9	192.50	251	259	15.20	41.60	1321.90

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LA PRECIPITACION MENSUAL DE LA ESTACION TABOGA

COLOSO DE PRECIPITACION EFECTIVA ESTACION TABOGA

Enere	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
17.6	1	0.04	147.8	1	0.04	332.3	1	0.04	579.7	1	0.04	881.1
18.6	2	0.09	153.8	2	0.09	388.4	2	0.09	655.5	2	0.09	955.5
6.5	3	0.13	95.2	3	0.13	232.9	3	0.13	403.3	3	0.13	416.3
5.2	4	0.17	64.6	4	0.17	227.6	4	0.17	427.7	4	0.17	392.4
1.6	5	0.22	58.6	5	0.22	218.7	5	0.22	433.6	5	0.22	387.5
1.4	6	0.26	56.5	6	0.26	167.2	6	0.26	388.3	6	0.26	378.6
6.5	7	0.30	46.3	7	0.30	154.3	7	0.30	363.3	7	0.30	253.5
6.4	8	0.35	37	8	0.35	139.7	8	0.35	372.6	8	0.35	221.0
6.3	9	0.39	30.5	9	0.39	119.4	9	0.39	344.8	9	0.39	12.0
0	10	0.43	11.3	10	0.43	107.6	10	0.43	325.4	10	0.43	11.1
0	11	0.46	28.8	11	0.46	131.8	11	0.46	311.7	11	0.46	16.3
0	12	0.52	27.8	12	0.52	138.2	12	0.52	287.7	12	0.52	6.3
0	13	0.57	27.2	13	0.57	123.1	13	0.57	262.6	13	0.57	5.5
0	14	0.61	66.4	14	0.61	126.5	14	0.61	239	14	0.61	3.6
0	15	0.65	66.3	15	0.65	115.5	15	0.65	222.5	15	0.65	2.2
0	16	0.70	13.8	16	0.70	92.5	16	0.70	193.7	16	0.70	1.5
0	17	0.74	9.3	17	0.74	72.9	17	0.74	174.7	17	0.74	1.2
0	18	0.78	8.1	18	0.78	72.2	18	0.78	178.2	18	0.78	0
0	19	0.83	3.4	19	0.83	58.8	19	0.83	166.2	19	0.83	0
0	20	0.87	2	20	0.87	46.8	20	0.87	153.6	20	0.87	0
0	21	0.91	0	21	0.91	33.8	21	0.91	138.6	21	0.91	0
0	22	0.95	0	22	0.95	23.3	22	0.95	93.9	22	0.95	0

Fig.-8a AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

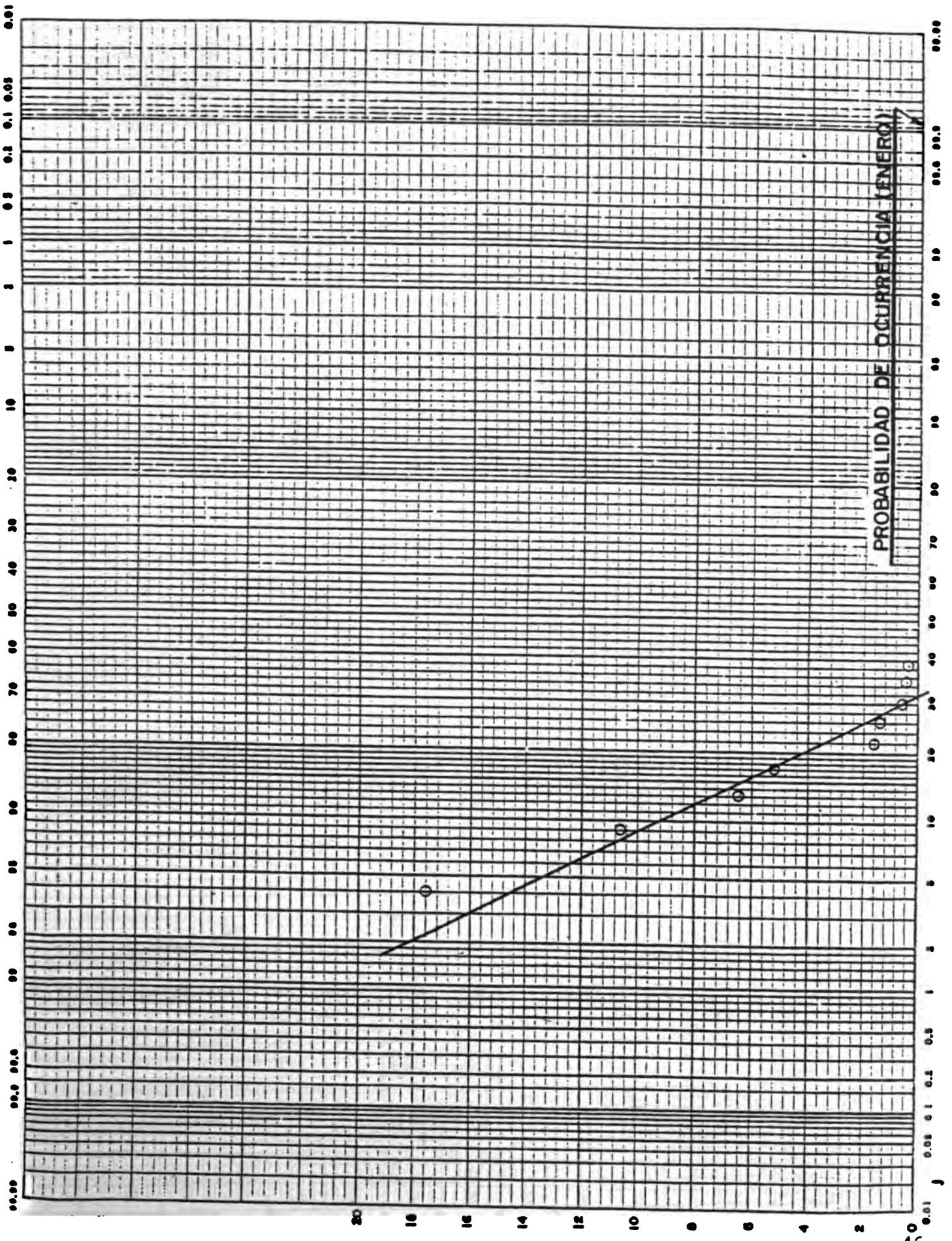
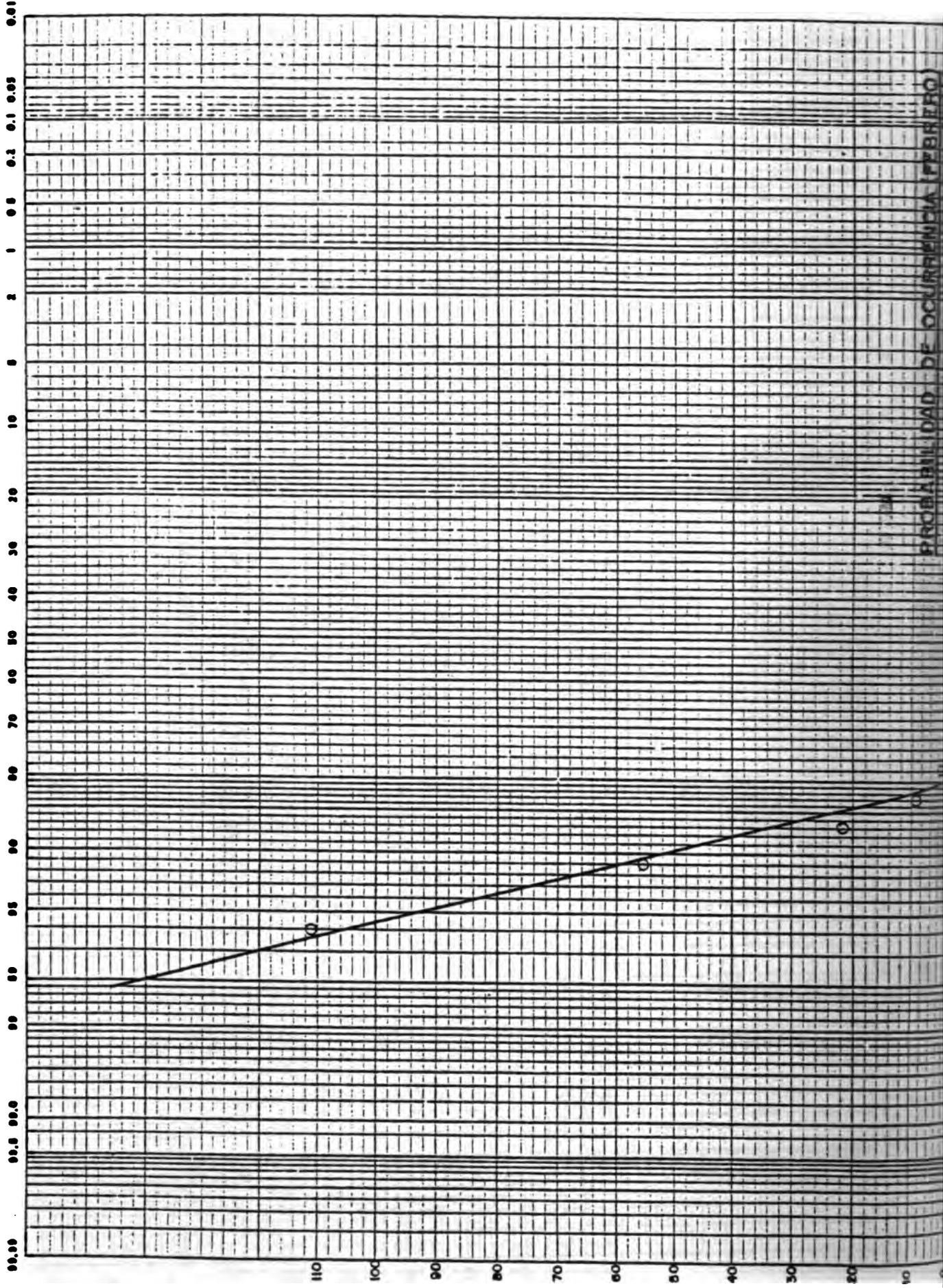


Fig.8-b AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)



AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

Fig. 8-c

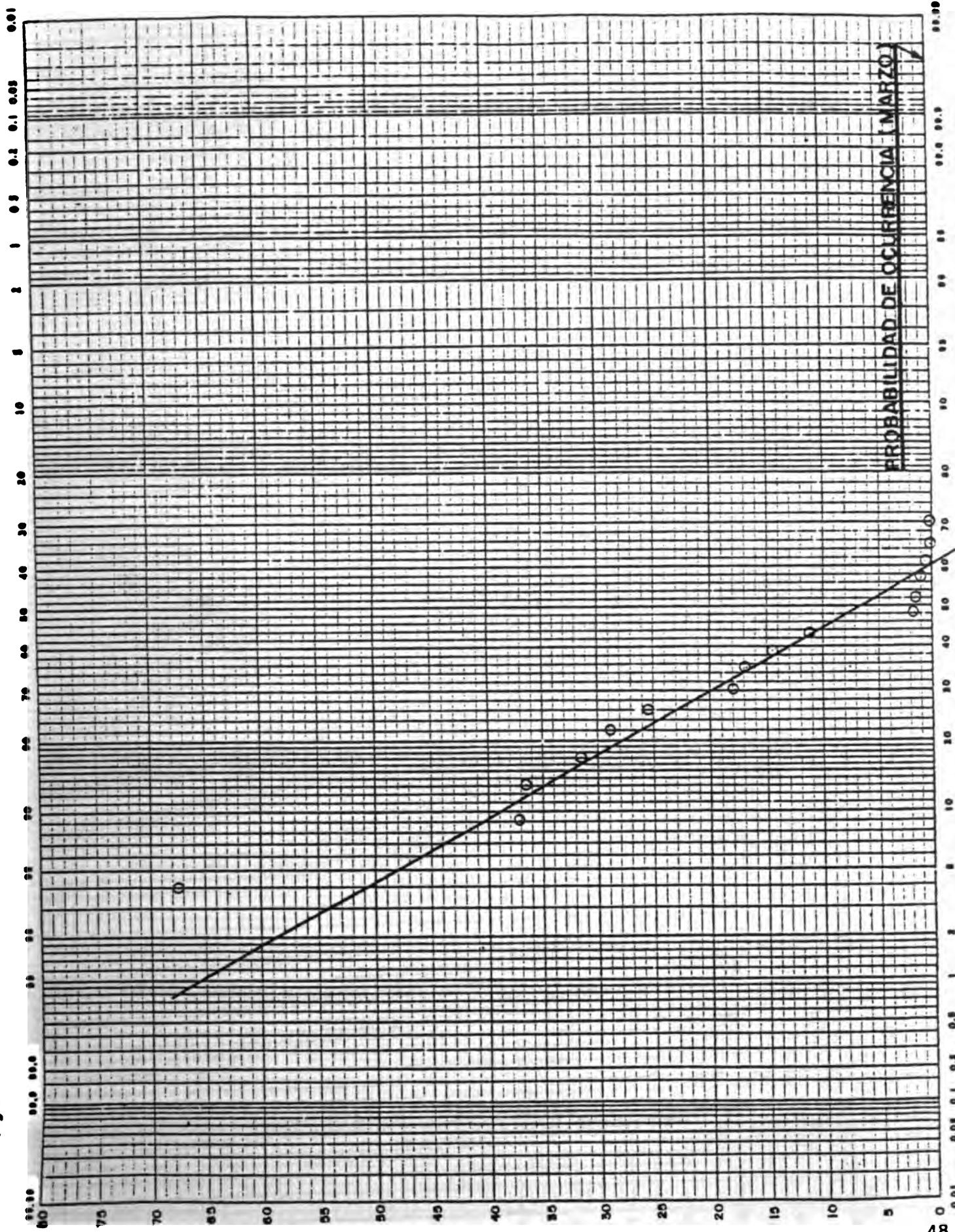
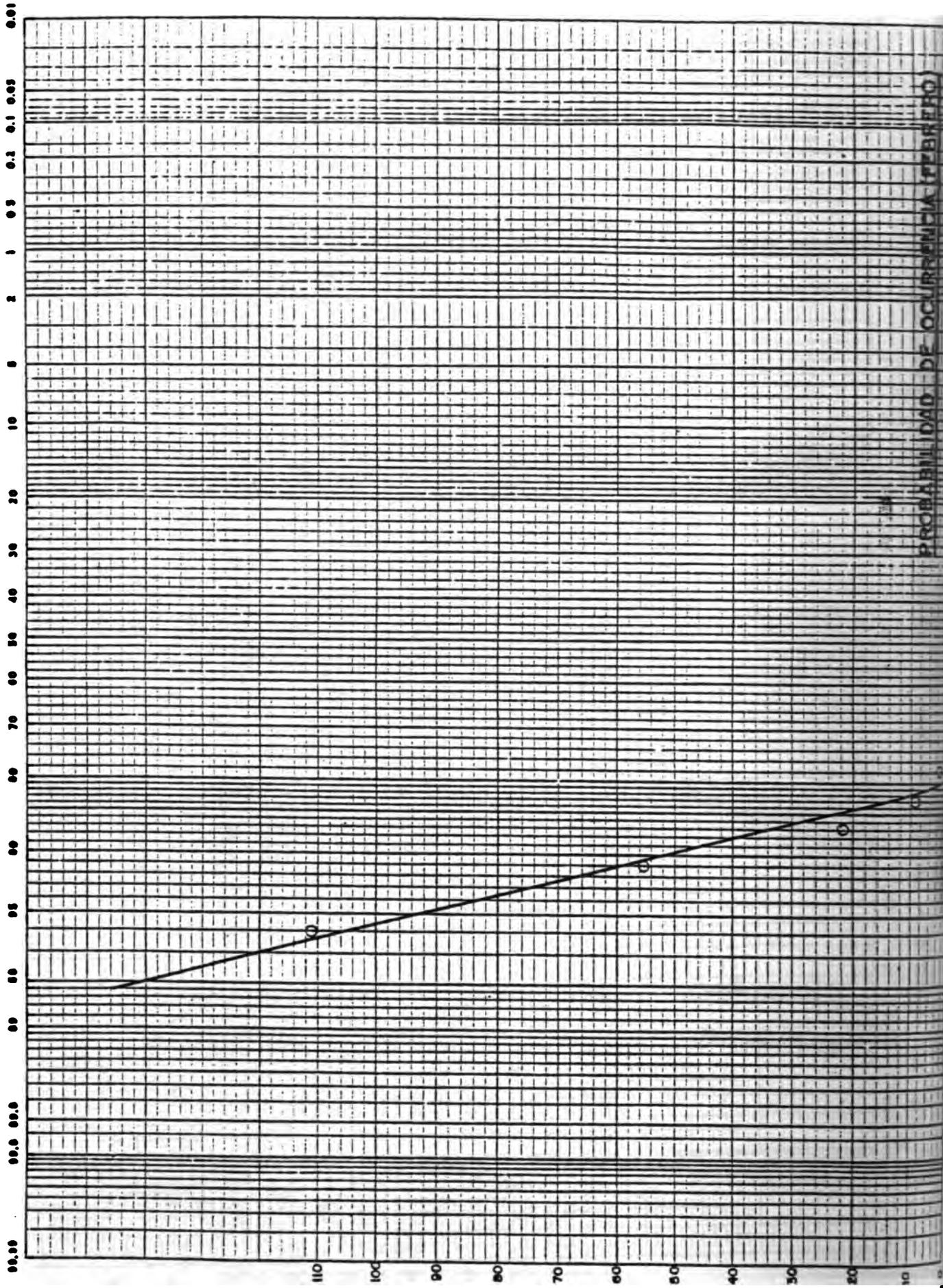


Fig.8-b AJUJTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)



PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (mm)

Fig. 8-c AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (MARZO)

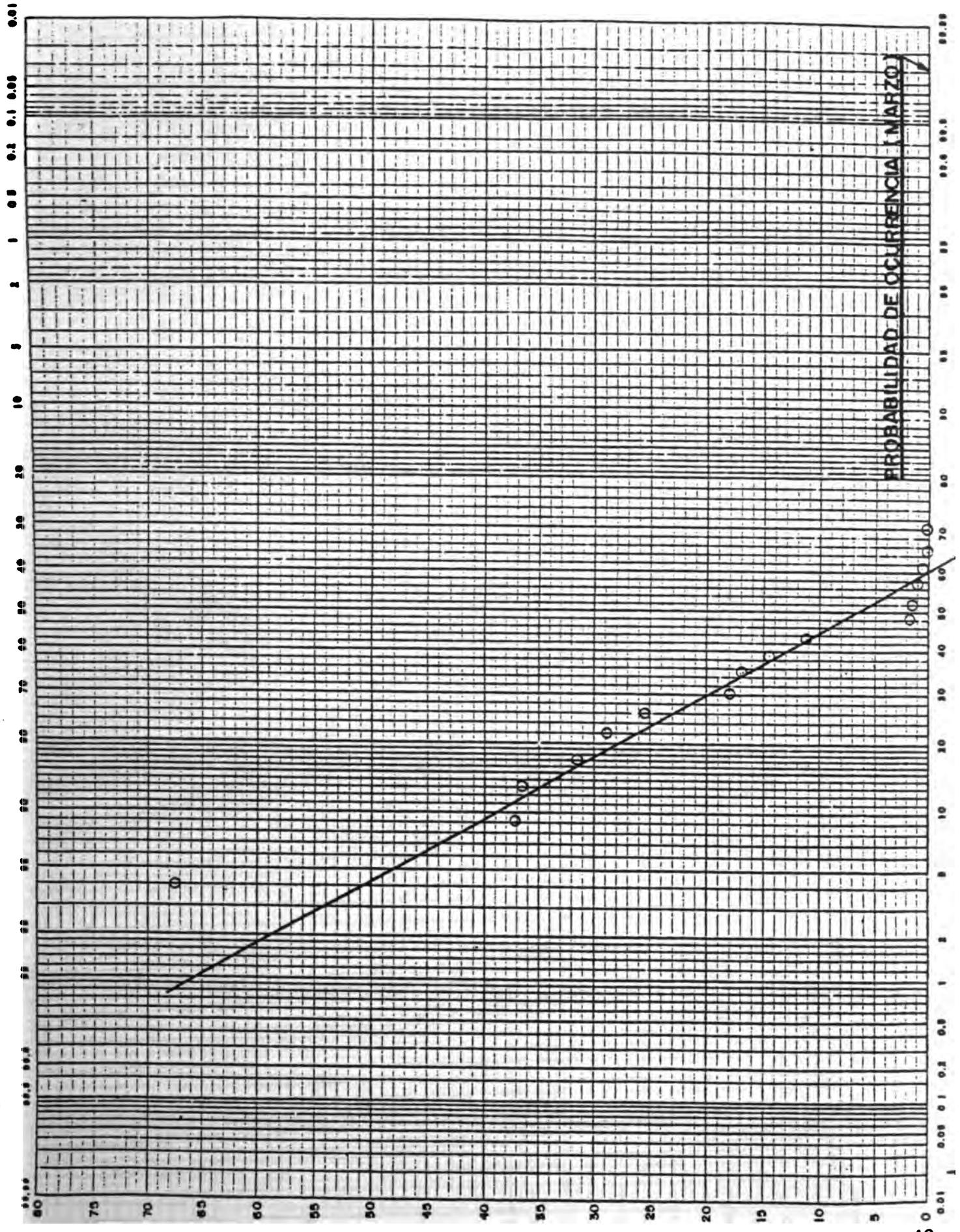


Fig.8-b AJUJTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

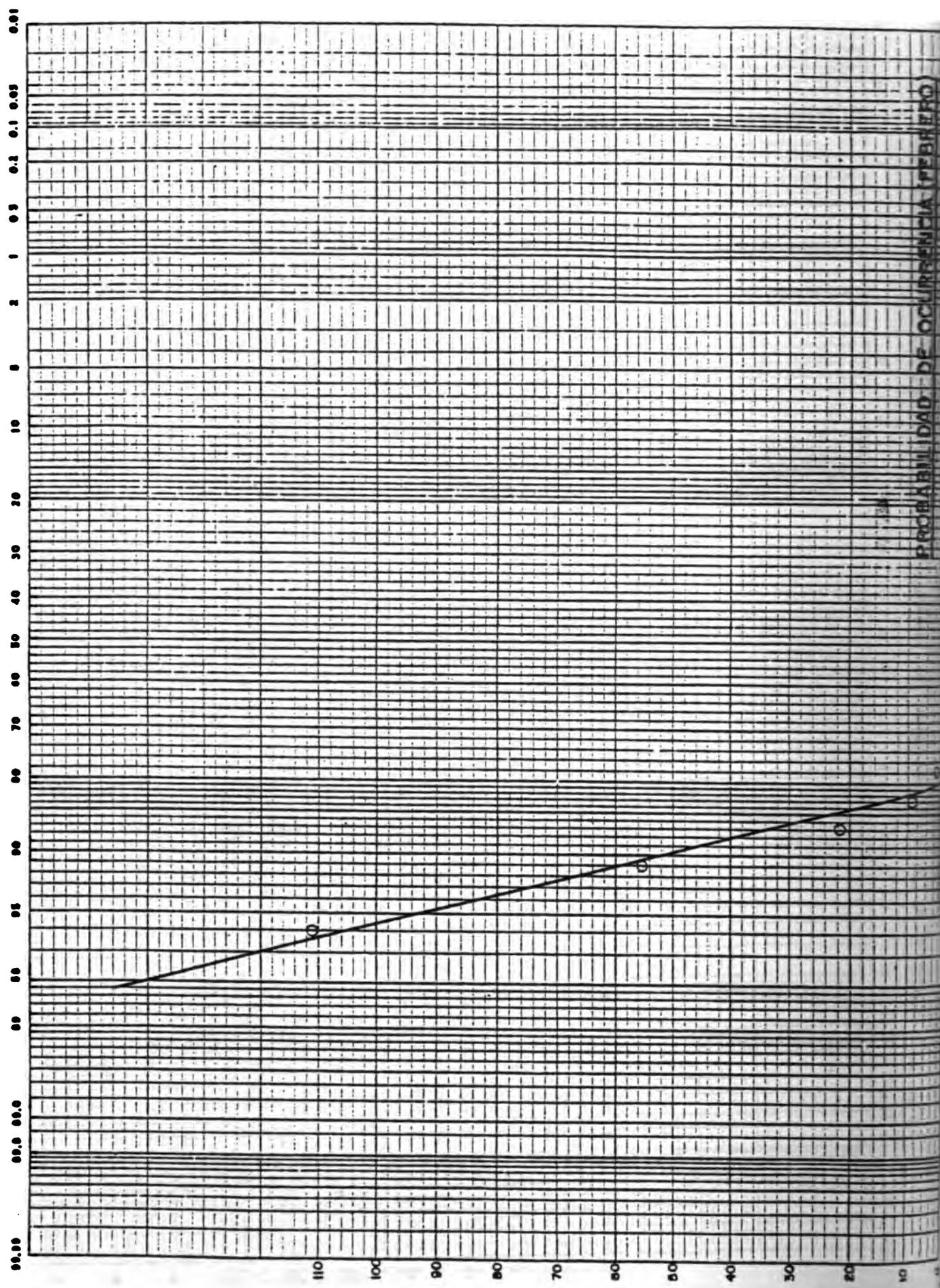
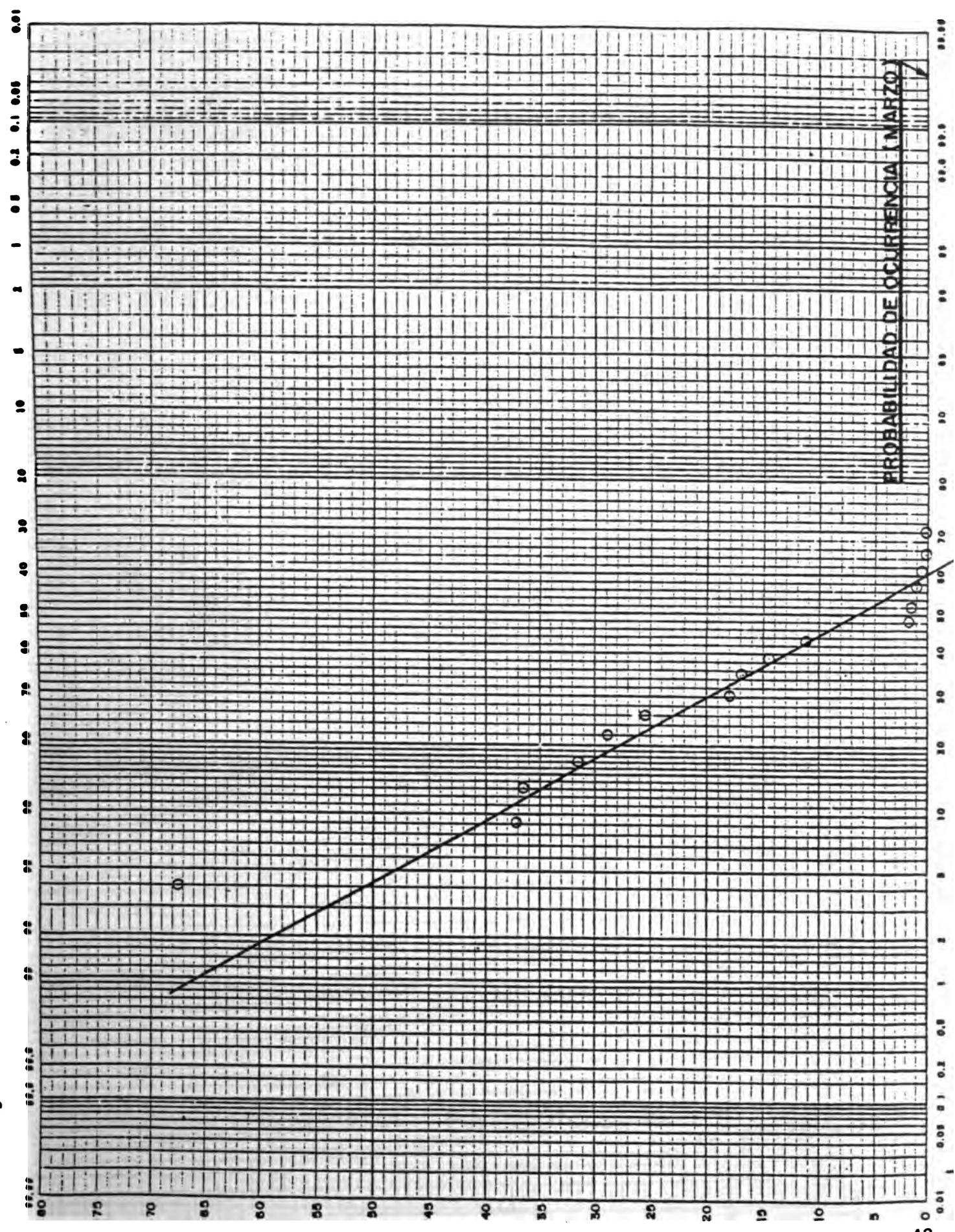


Fig 8-C AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (MARZO)



AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

Fig. 8 - ch.

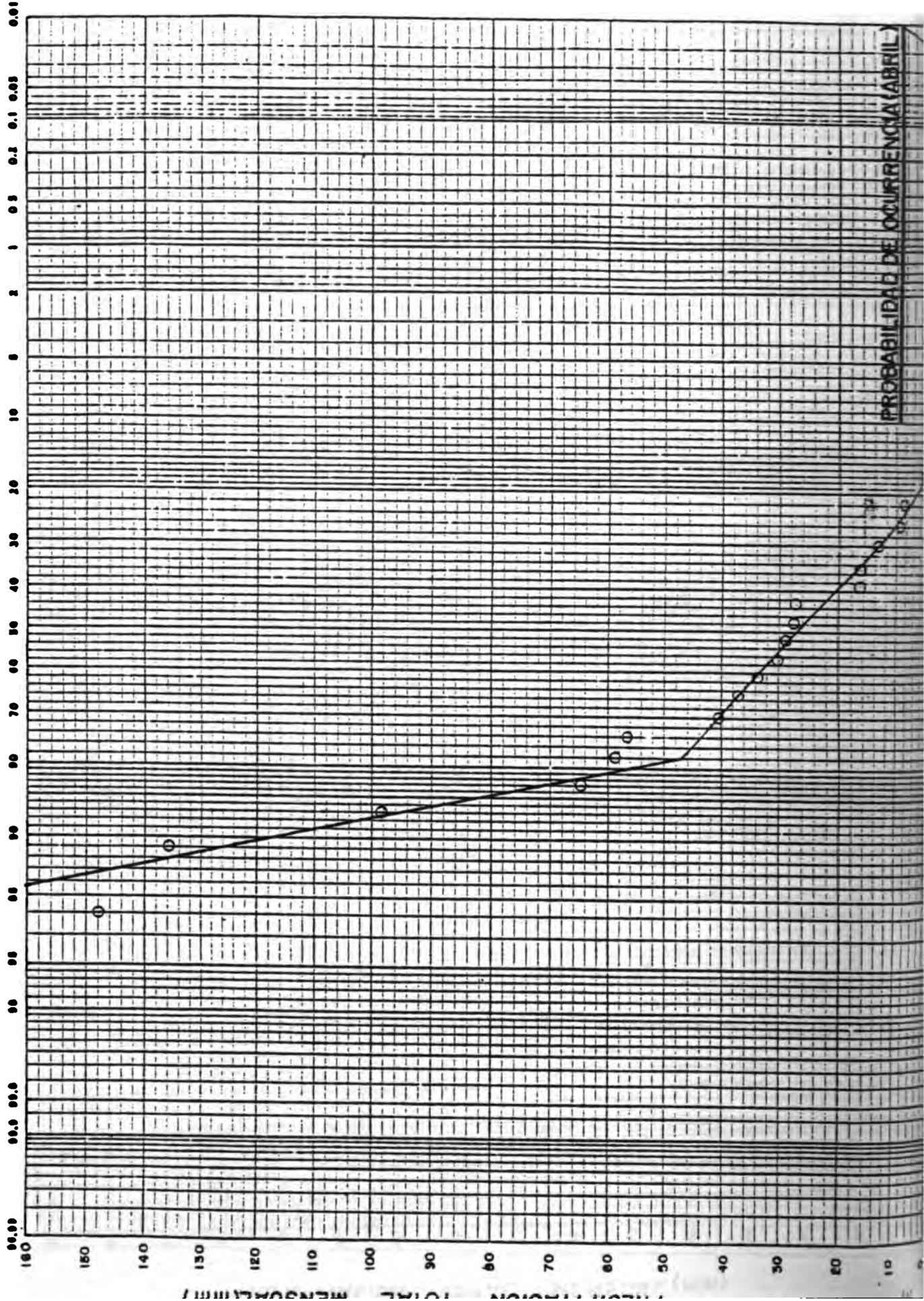
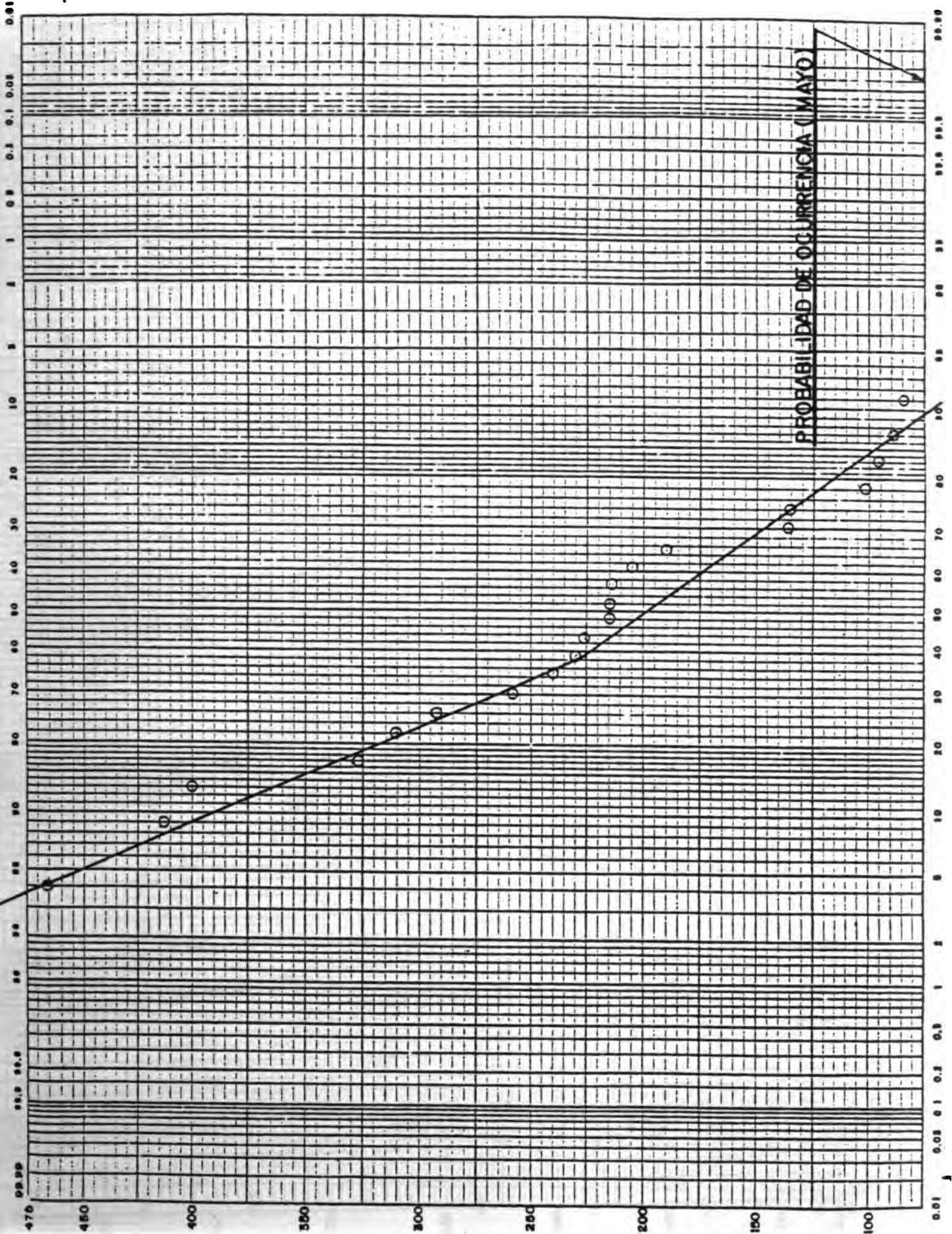


Fig. - 8d



AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

Fig. 8 - ch.

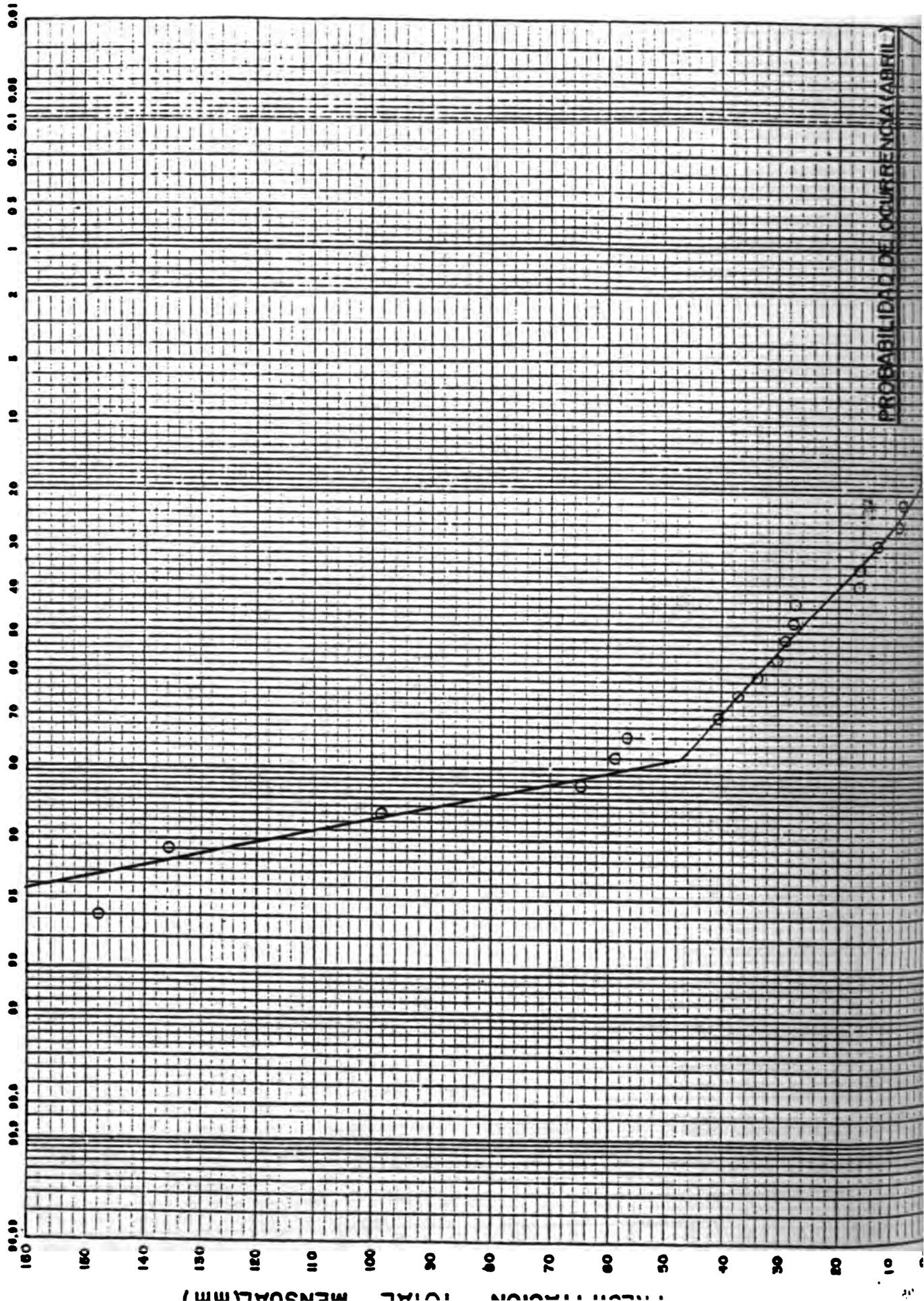


Fig. - 8d

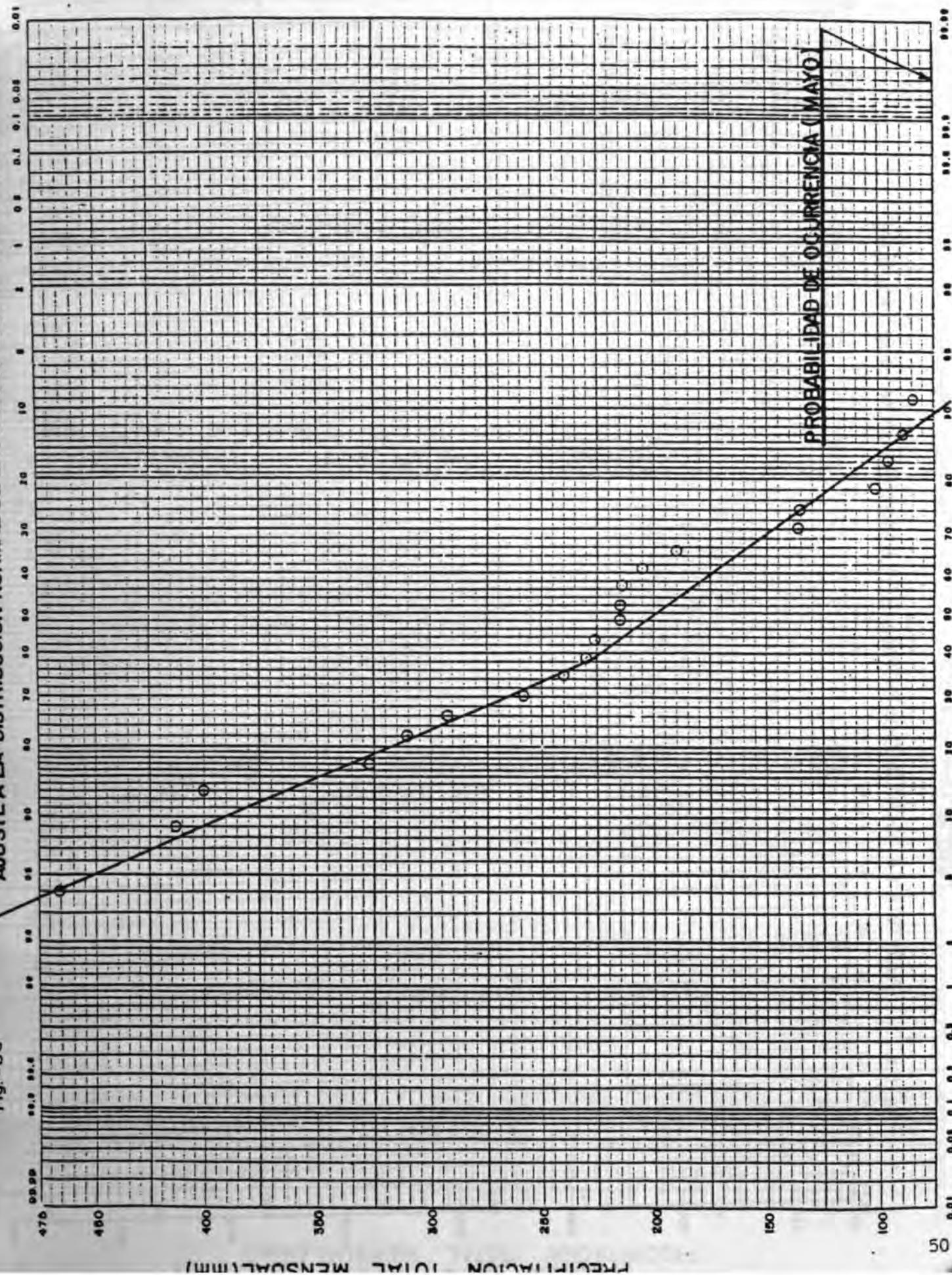


Fig. 8 e AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

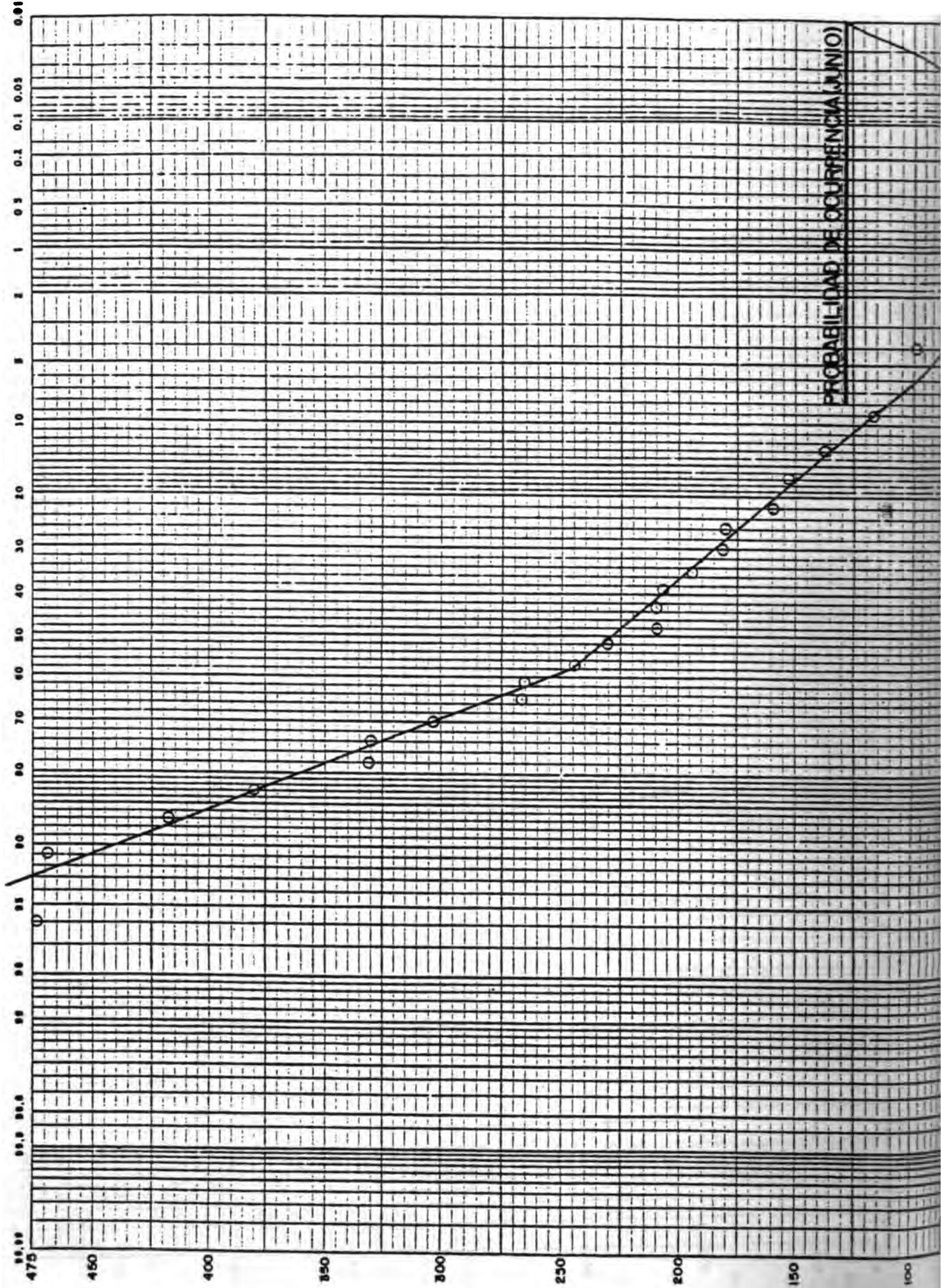


Fig. - 8 f AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

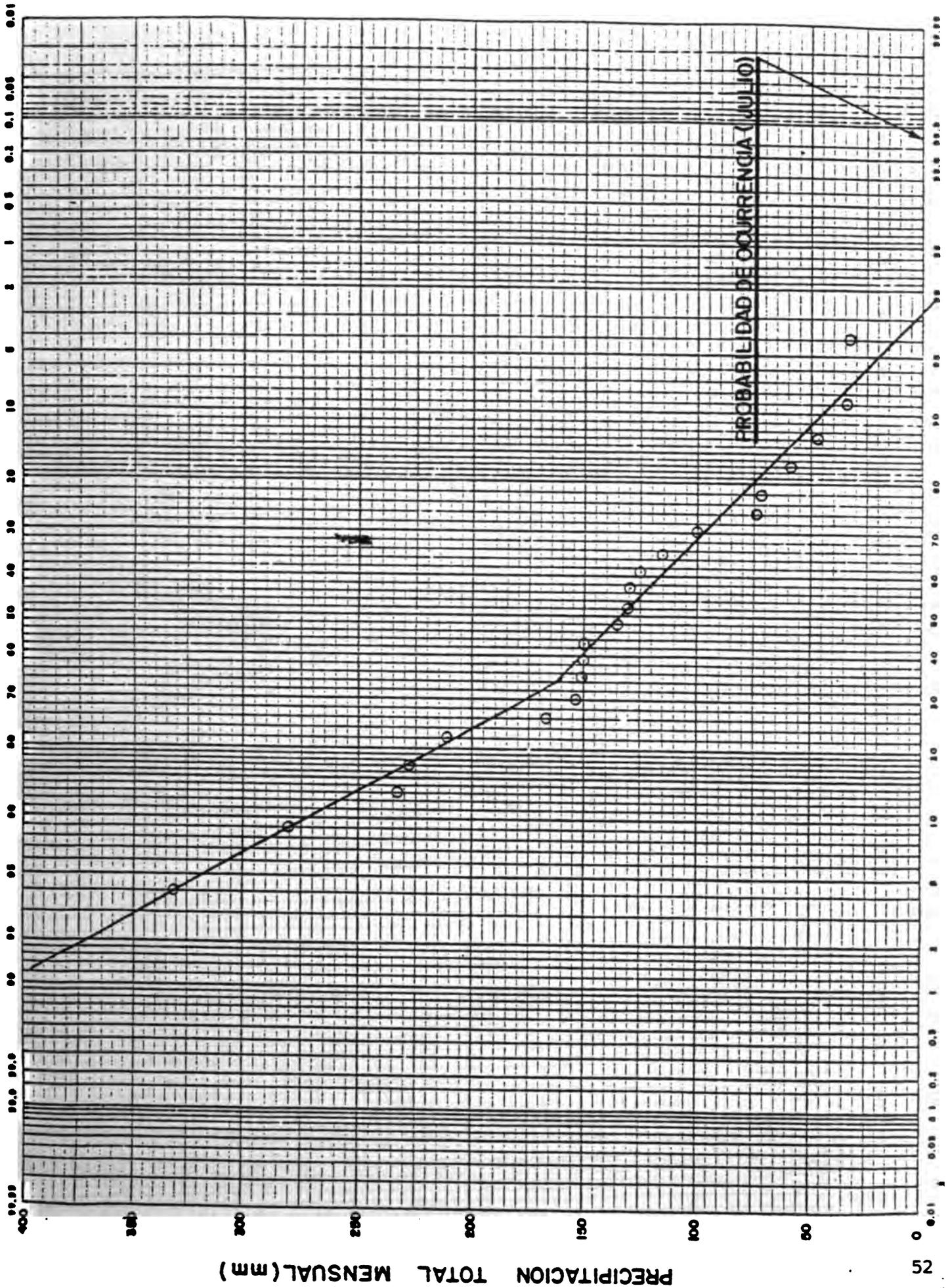


Fig-8 e AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

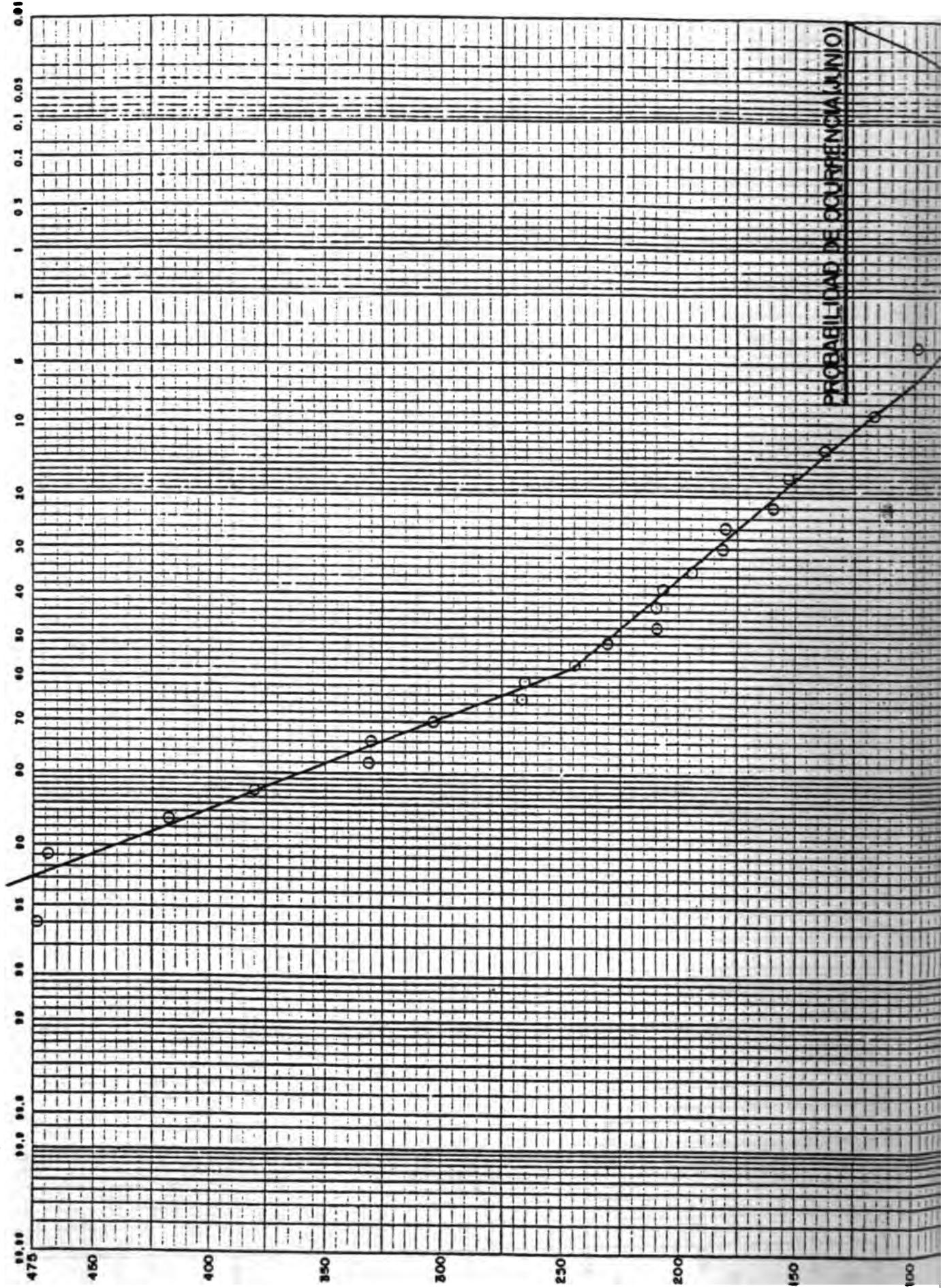


Fig-8f AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

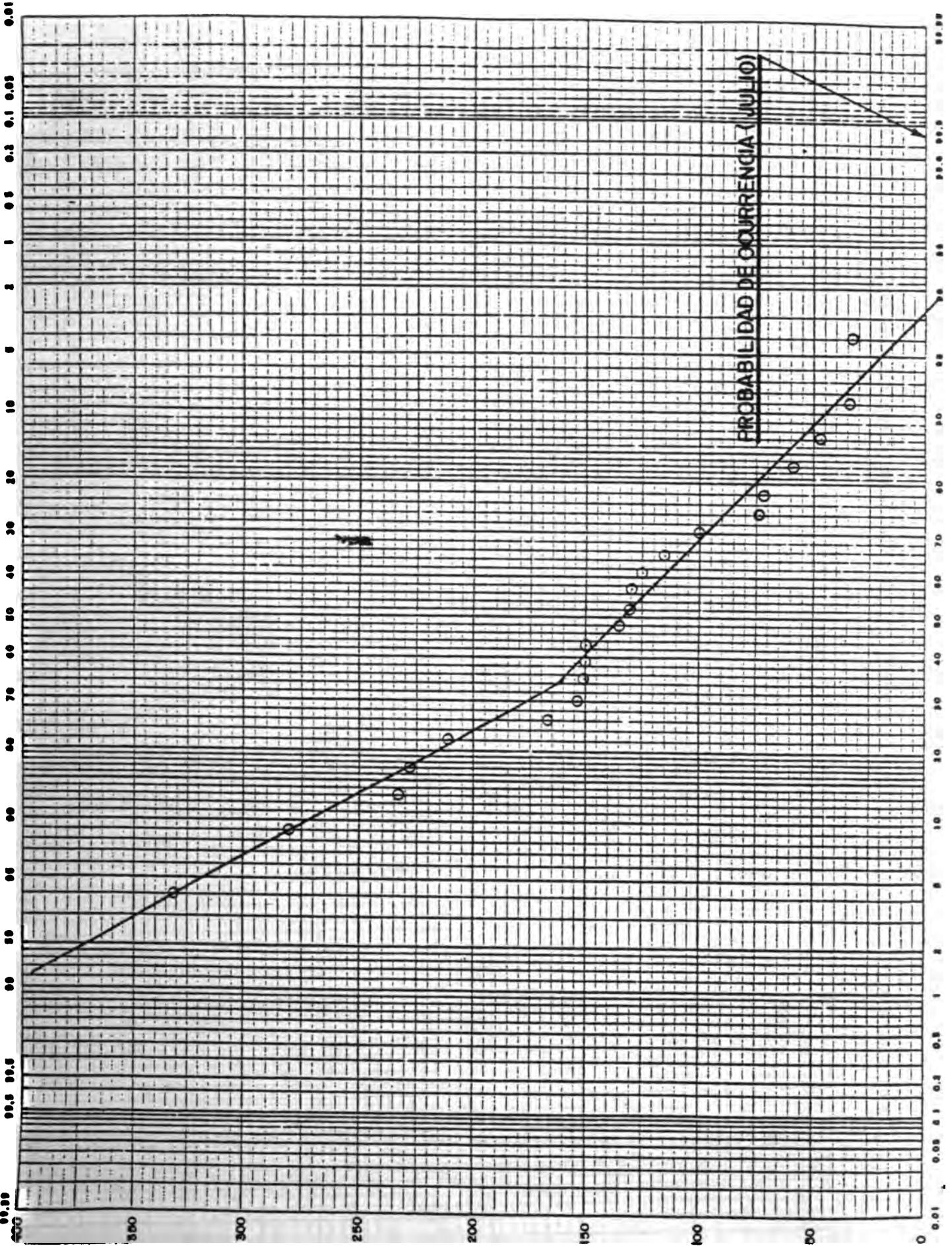
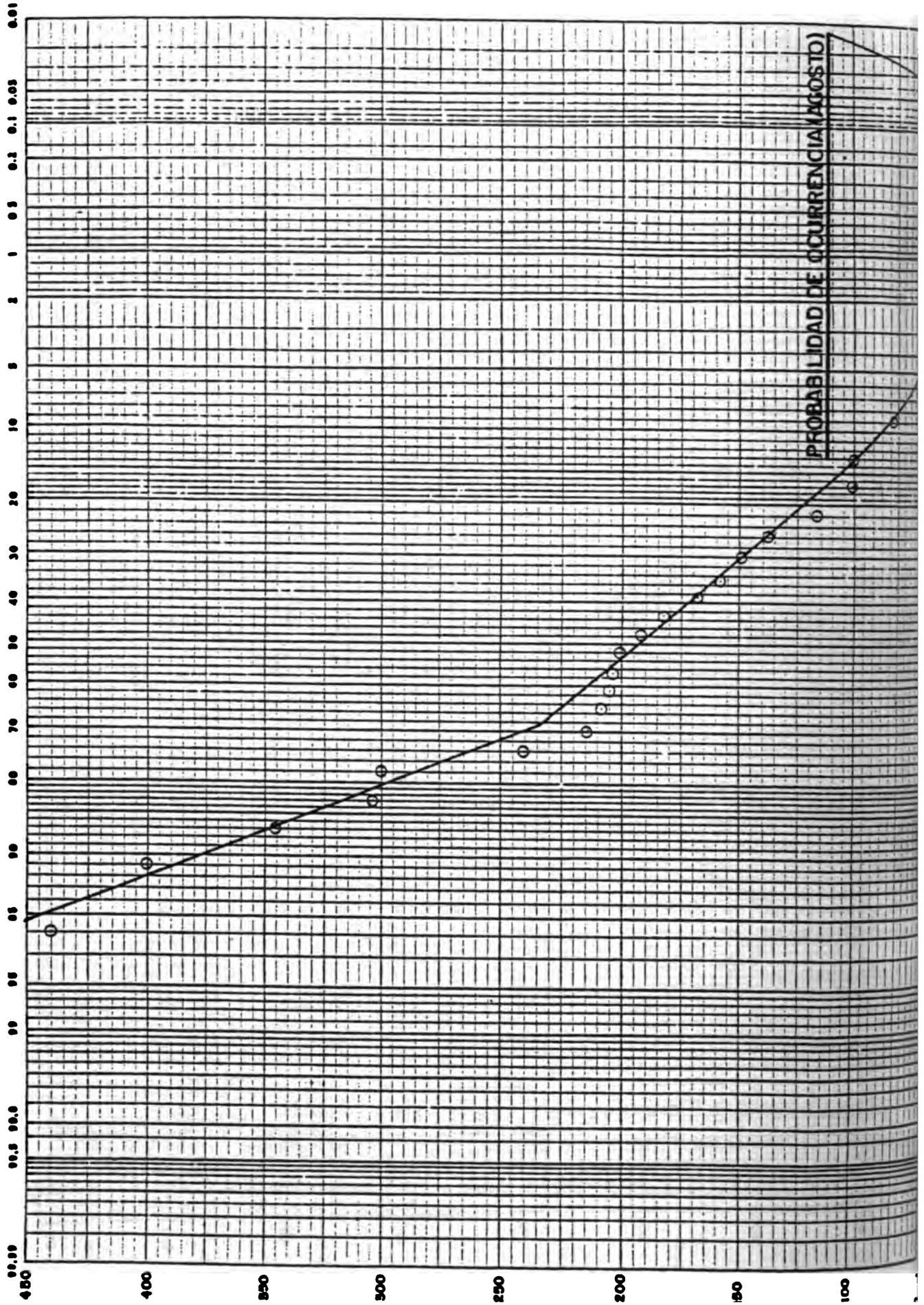


Fig. - 89. AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)



AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

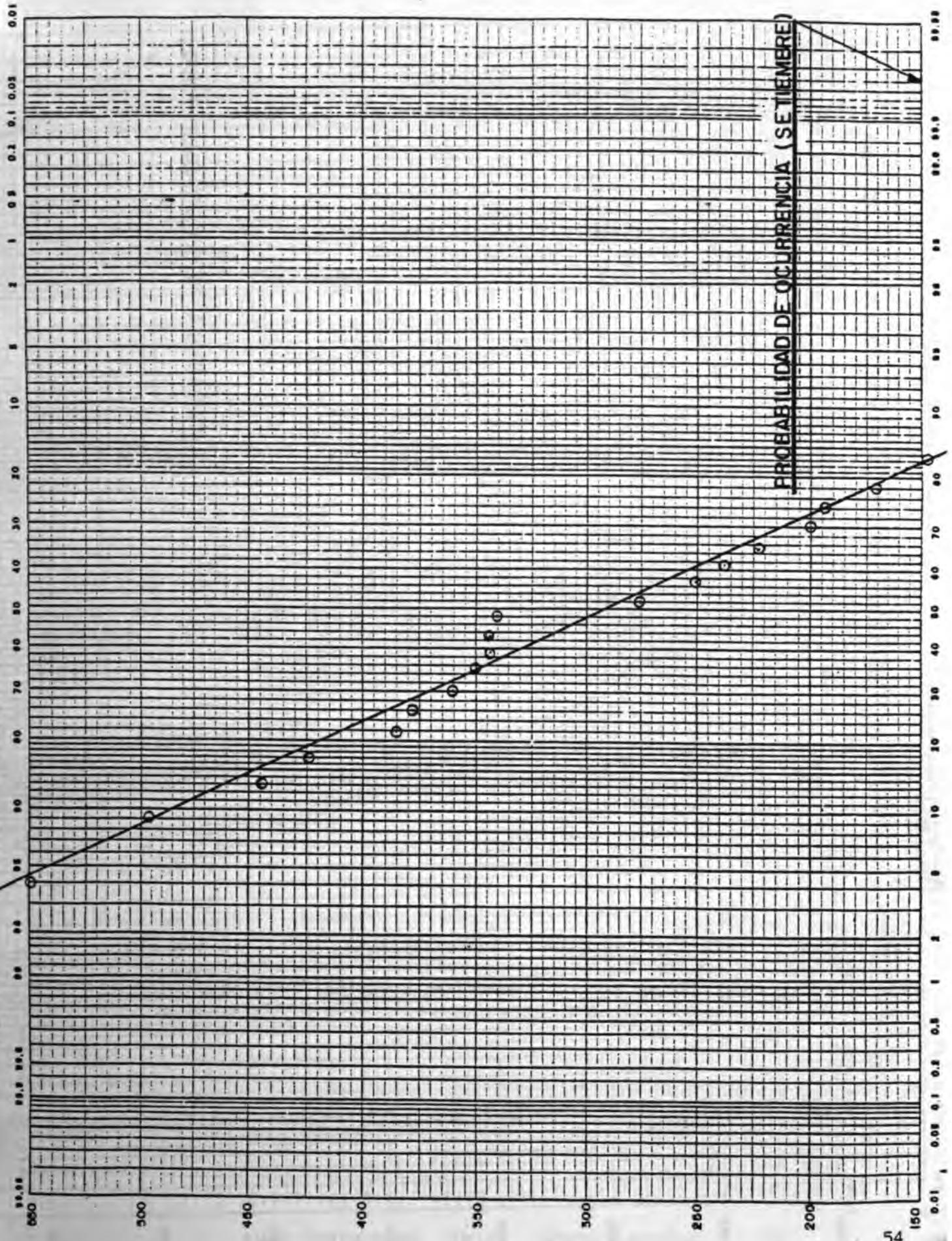
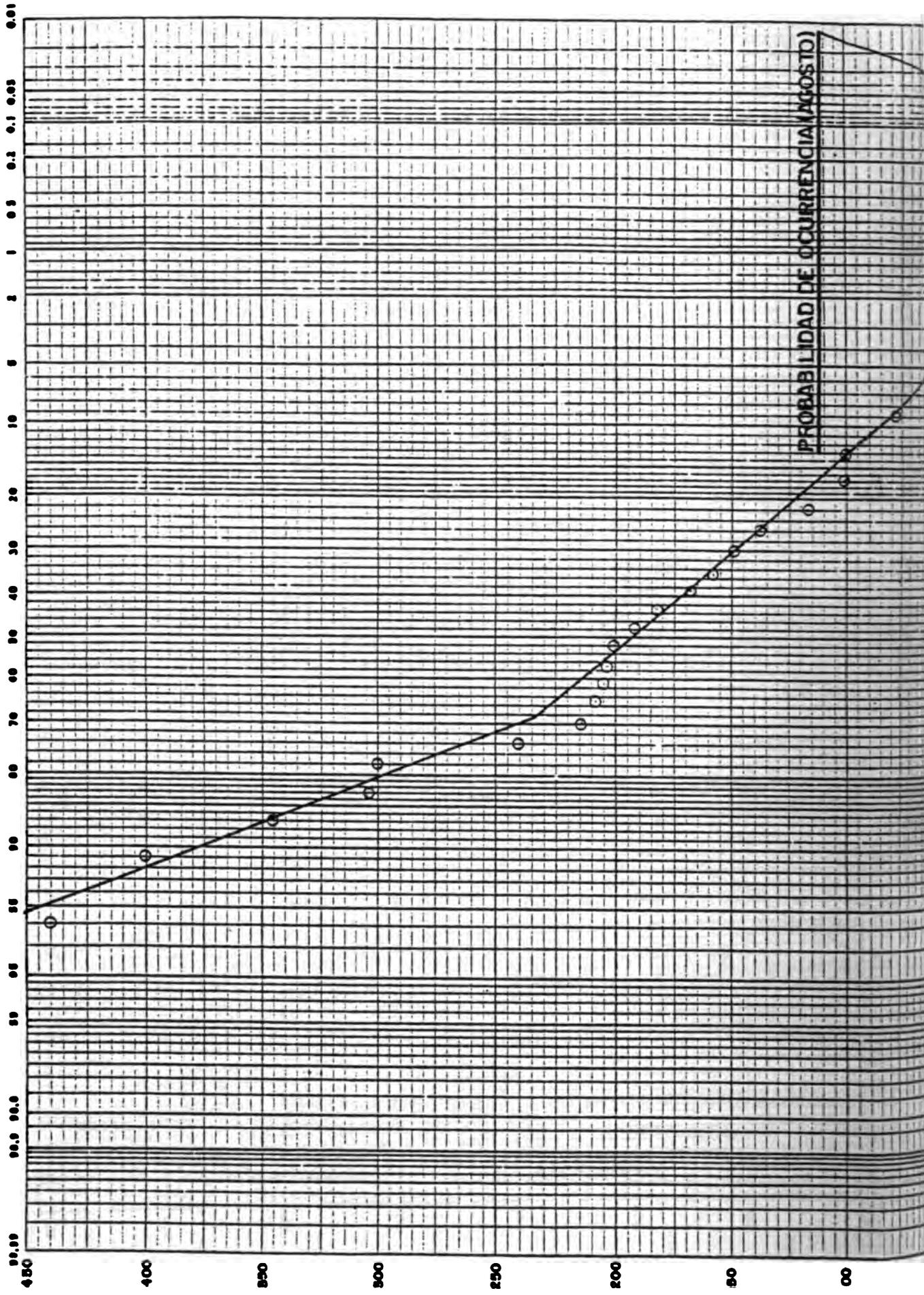


Fig - 8h

Fig. -8g. AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)



AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

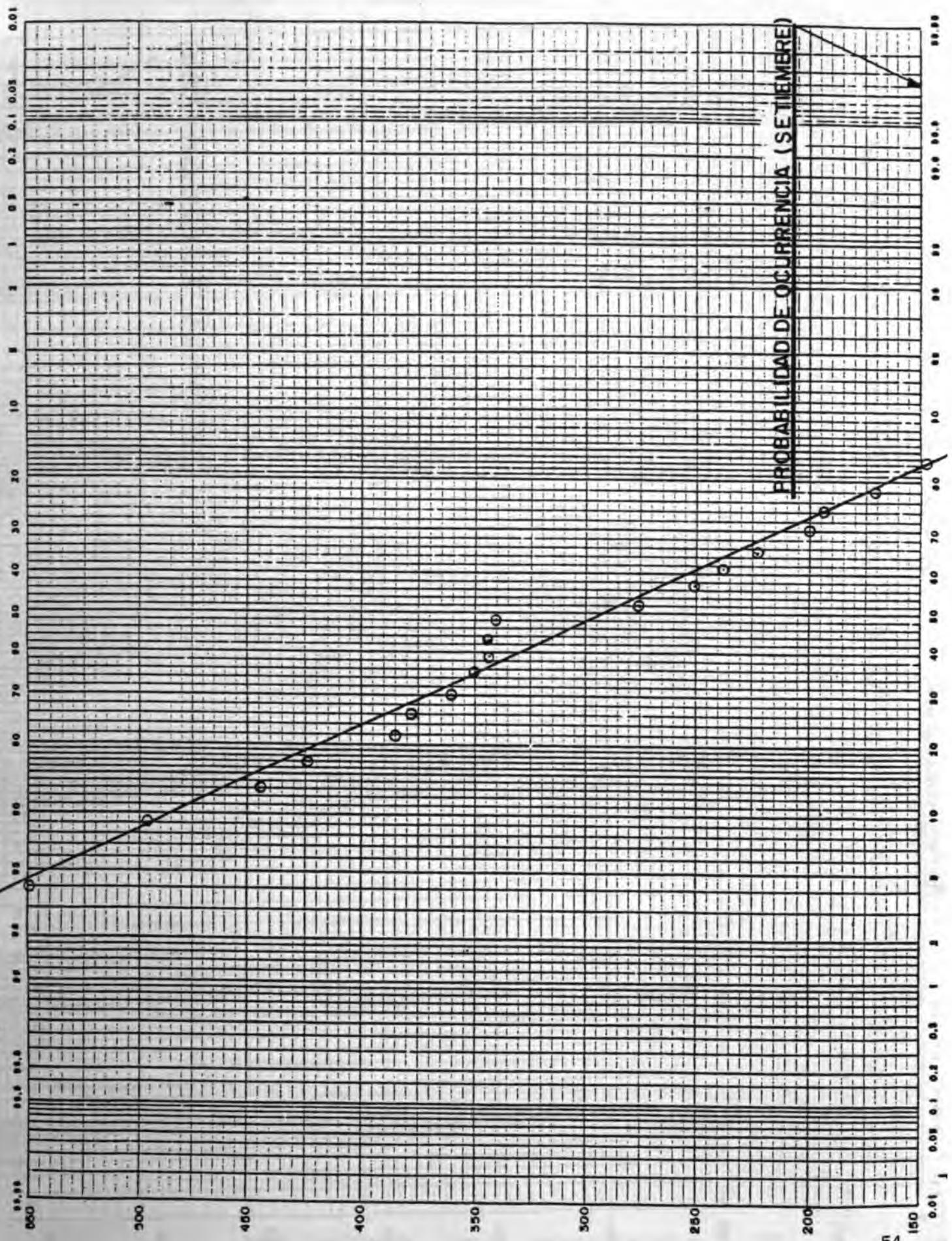


Fig - 8h

AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

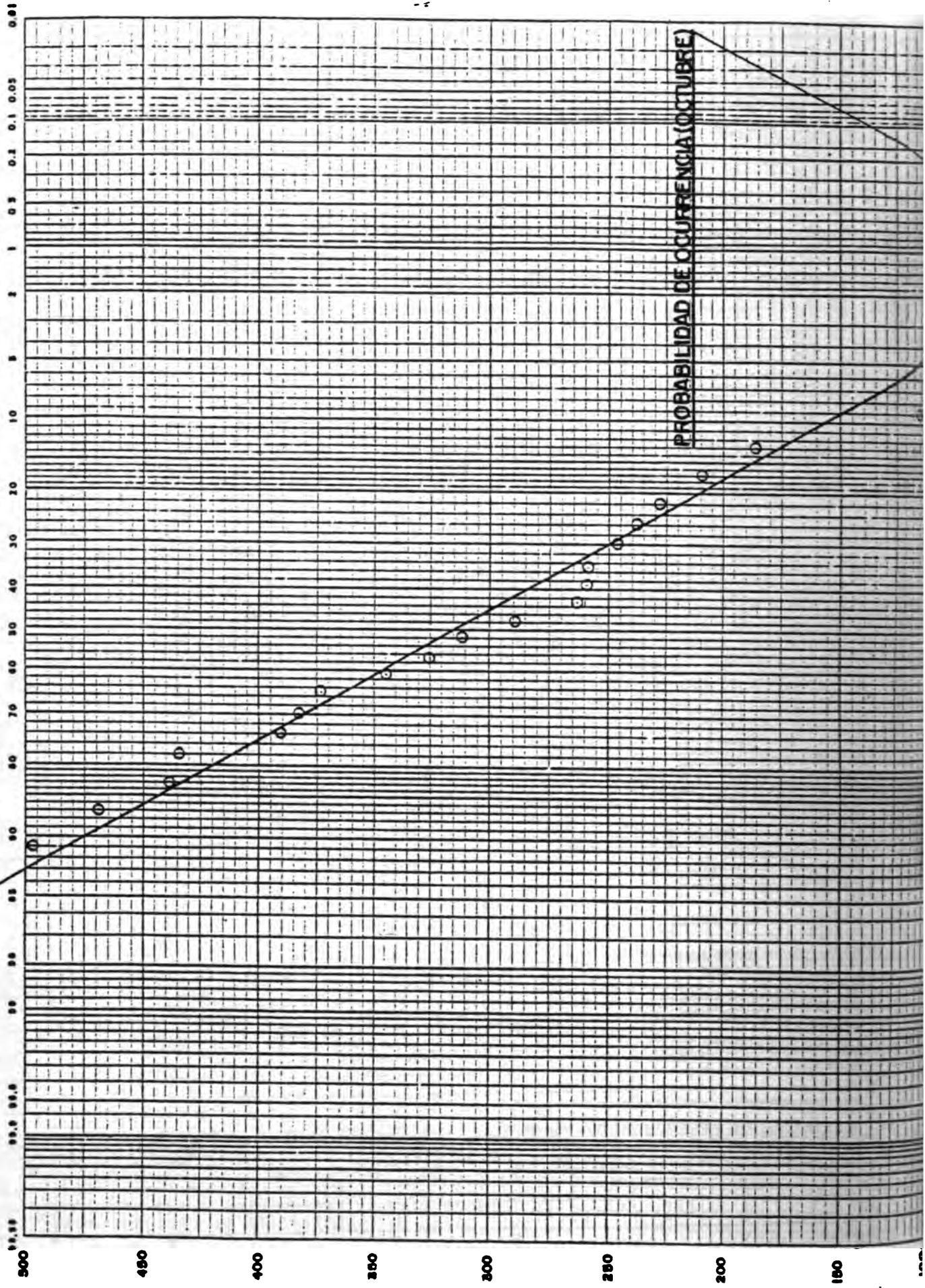
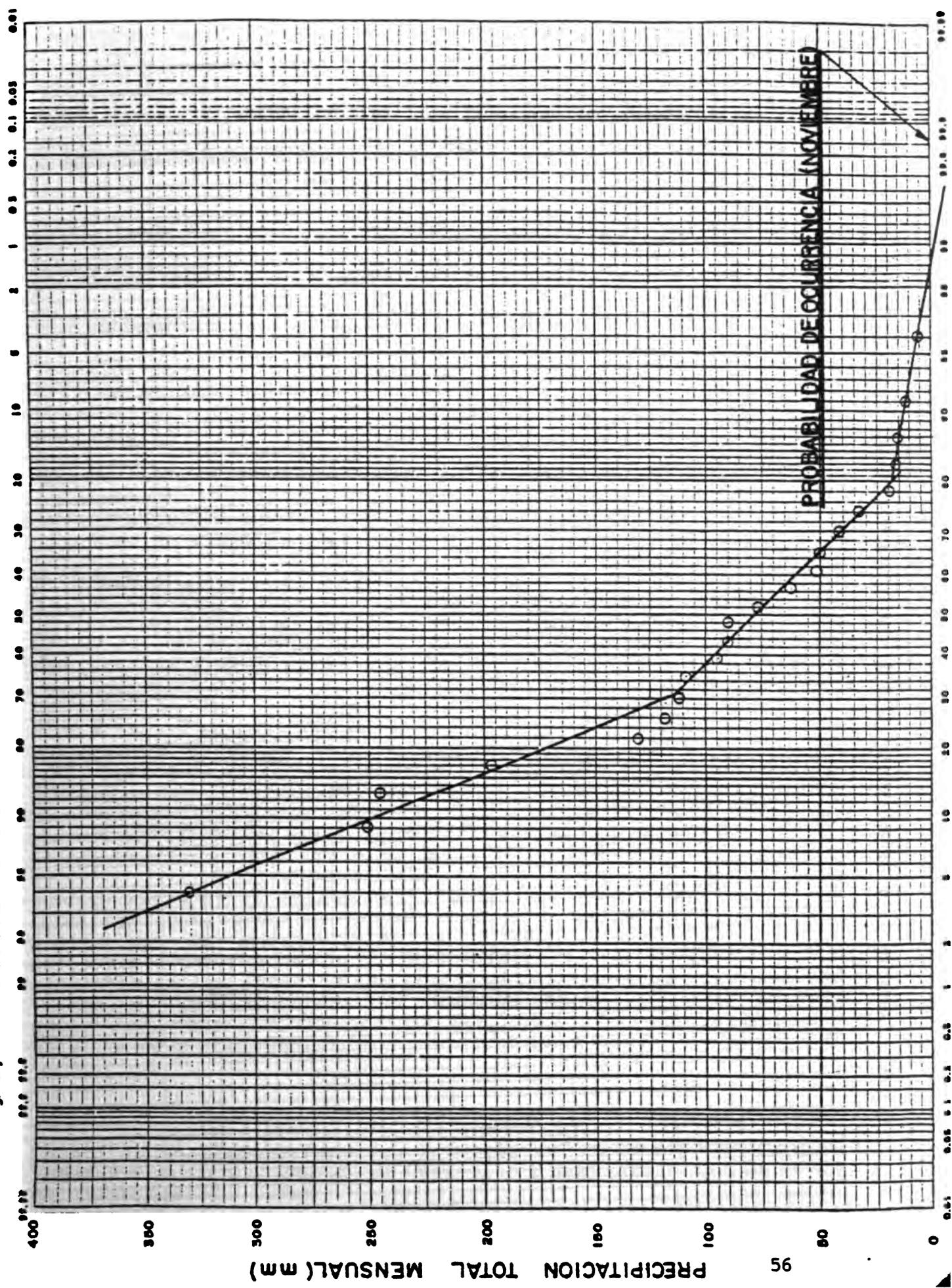


Fig. - 8-i

Fig- 8-j AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)



AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

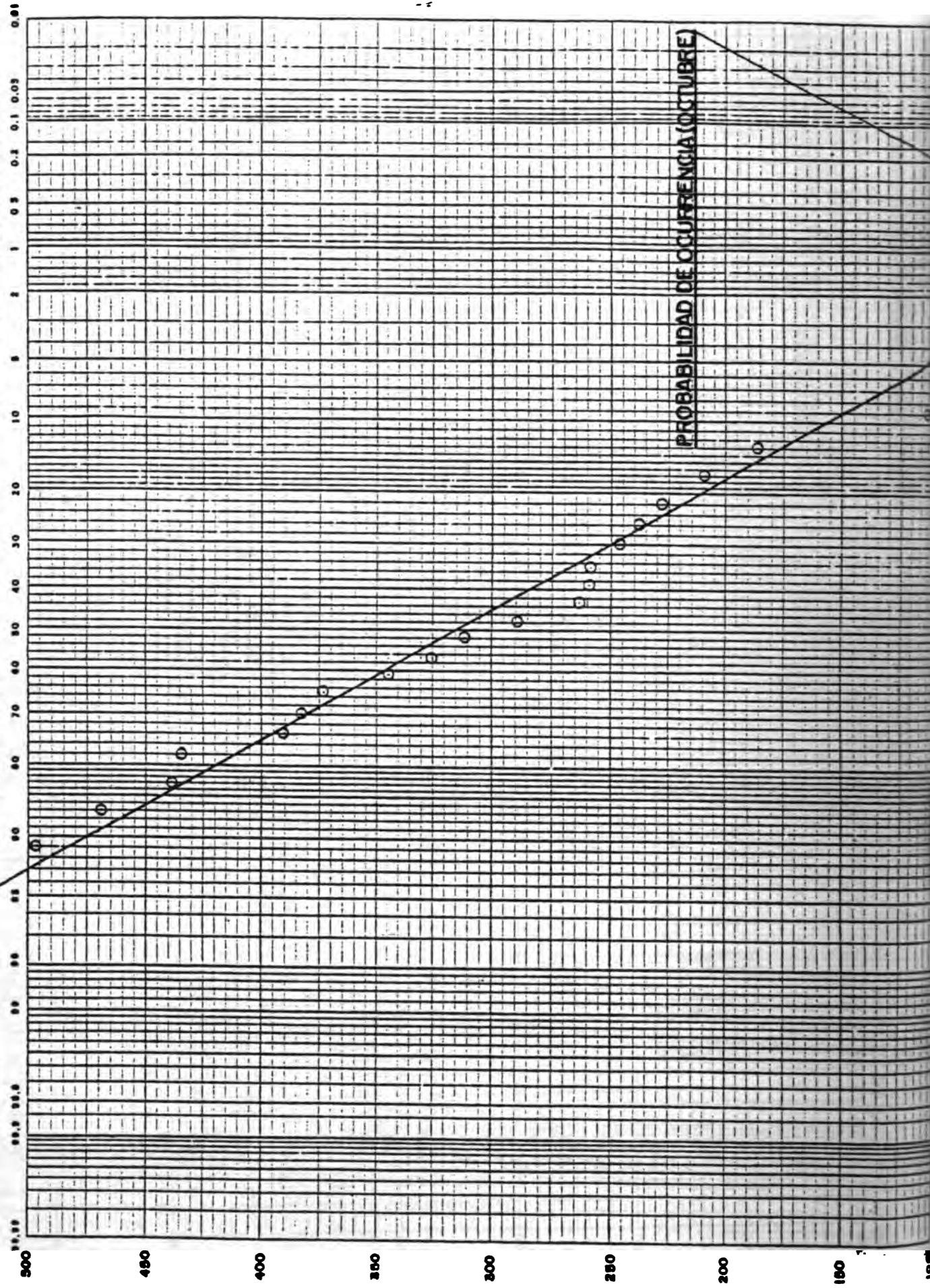


Fig. - 8-i

Fig. 8-j AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)

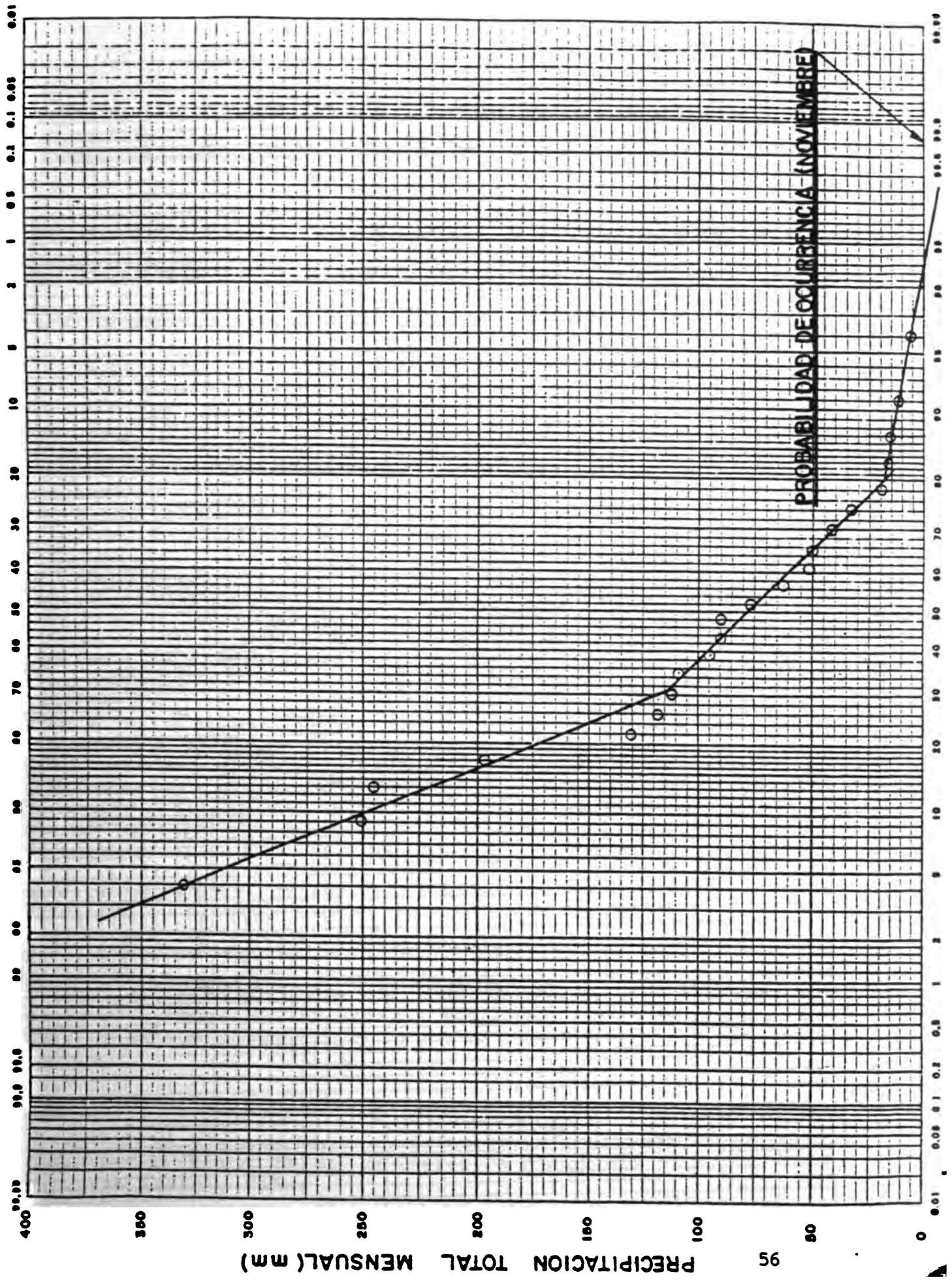
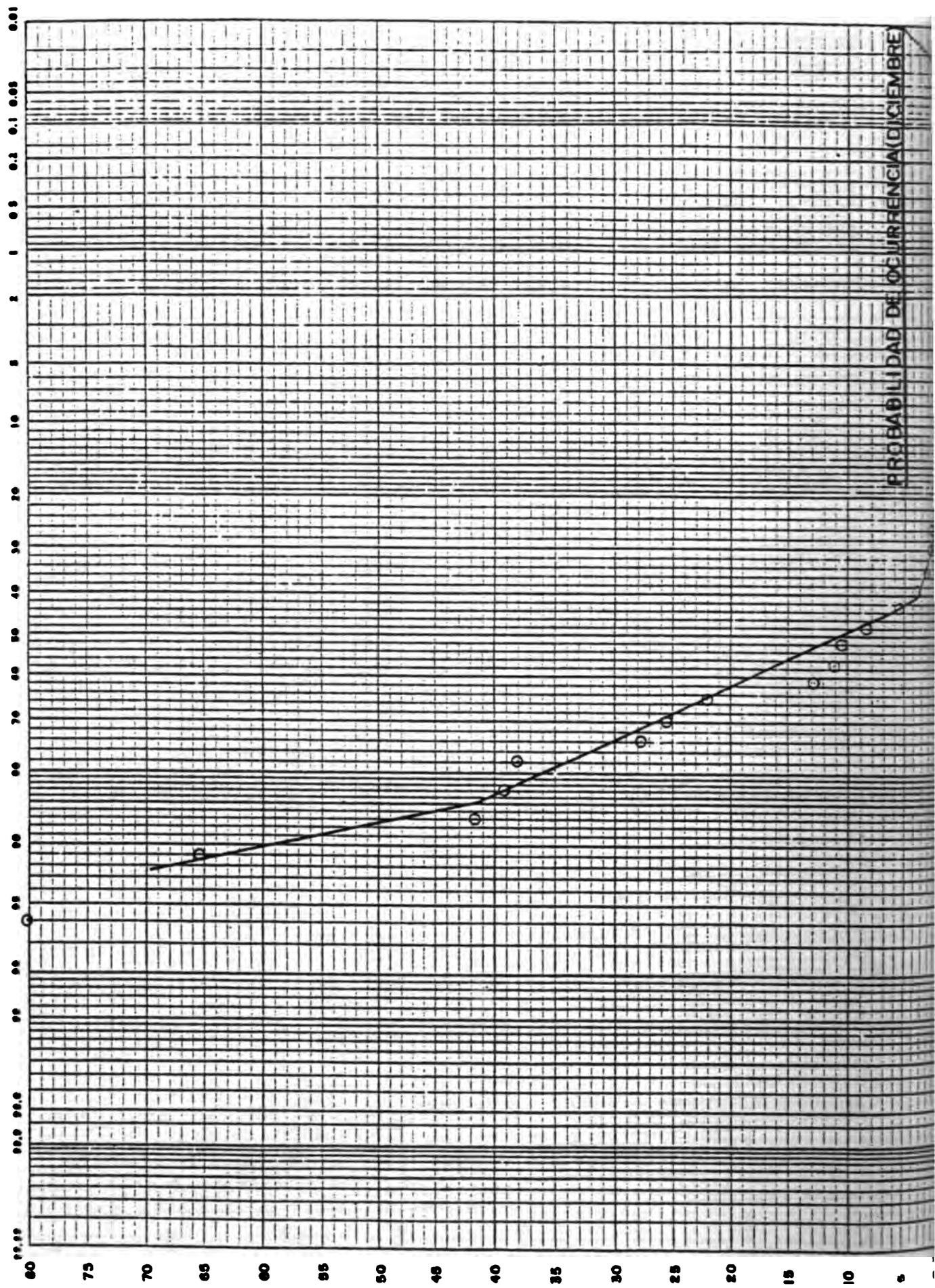


Fig. - 8 - k. AJUSTE A LA DISTRIBUCION NORMAL DE LA PRECIPITACION MENSUAL (mm)



**REHABILITACION DE LOS CANALES DE RIEGO CS-10 y CS-10-1
DISTRITO DE RIEGO ARENAL**

**R.Humberto Pizarro-C.*
Roberto Spesny G.****

I. INTRODUCCION

Los canales CS-10 y CS-10-1 construídos en tierra riegan la mayor superficie agrícola (3.315 Ha.), de la primera etapa (Áreas de Ampliación Paso Hondo y Margen Derecha) del Proyecto de Riego Arenal-Tempisque.

La tierra, en su mayoría se dedica a los cultivos predominantes de la Agricultura de regadío de la región: arroz, caña de azúcar y pastos. Los canales poseen una gran capacidad y pueden transportar sin limitación el caudal que requieren las áreas cultivadas.

En el momento actual, noviembre de 1993 (antes de los trabajos de rehabilitación), se observa un fuerte deterioro en la conductancia de los canales, la sección transversal se ha ensanchado y cambiado de forma. La erosión avanza aceleradamente por lo que es conveniente adoptar medidas correctivas para detenerla y proteger las estructuras.

Debido a la forma particular de funcionamiento de los canales de riego (tramos donde el flujo se acelera y en ciertos puntos se detiene para transformar la energía cinética en energía potencial y tener la carga necesaria para derivar el caudal requerido), es conveniente realizar un mantenimiento preventivo permanentemente el cual debe programarse en concordancia con las labores agrícolas para no someter a déficits hídricos a los cultivos.

La inexistencia en el pasado de una programación del mantenimiento ha limitado su ejecución a tareas simples de emergencia que no han impedido que la erosión siga su curso. Por esta razón el Departamento de Operación y Mantenimiento ha encomendado la realización de los estudios que permitan conocer en su integralidad la magnitud del problema de rehabilitación de los canales mencionados y adoptar las medidas más apropiadas que aseguren el abastecimiento permanente del agua de riego a todos los usuarios.

* Consultor en Riego y Drenaje. Convenio IICA-SENARA

**Ingeniero Agrícola, Depto. de Operación y Mantenimiento, Distrito de Riego Arenal, Cañas

El canal CS-10 es alimentado directamente del canal del Sur mientras que el canal CS-10-1, tiene la doble posibilidad de ser alimentado por el canal CS-10 o recibir los desagües de la granja Piscícola quien capta sus caudales del canal del Sur y que después de servirse del oxígeno que transporta el agua, la vierte al canal CS-10-1 para ser aprovechada en el riego.

La forma de alimentación de los canales les otorga autonomía lo que facilita la programación del mantenimiento con cierta independencia.

Las relaciones caudal-área regada que se emplean en el Distrito requieren ser verificadas porque no se dispone de estructuras de medición, los canales tiene la capacidad y el agua no es relativamente limitante.

II. OBJETIVOS

Este trabajo persigue los siguientes fines:

1. Analizar cuidadosamente, en toda su longitud el comportamiento hidráulico y la estabilidad de los canales CS-10 y CS-10-1 para evaluar las necesidades de rehabilitación.
2. Determinar en lo posible, en los diferentes tramos de los canales, las causas de la erosión y de los daños.
3. Proponer las medidas apropiadas de rehabilitación.
4. Estimar las necesidades de material y el presupuesto para ejecutar el trabajo.
5. Incluir las modificaciones de las secciones del canal en las caídas para instalar estaciones hidrométricas, para facilitar la operación del sistema.

III. ANTECEDENTES

El cálculo de la capacidad de conducción de los canales se ha hecho suponiendo que el perímetro mojado de las secciones es rígido, que las paredes y el fondo son resistentes a la erosión, que la energía cinética del agua está completamente disipada y que el canal funcionará de manera estable. Sin embargo esas hipótesis no son completamente ciertas.

Desde el punto de vista hidráulico se admite que el flujo es normal, es decir uniforme y permanente, lo que significa que los elementos hidráulicos no varían ni con el tiempo ni en el espacio. Bajo ese criterio se ha diseñado los canales cuyas características constructivas se muestran en los cuadros 1 y 2. La sección es trapecial de talud 1.5:1 (por cada unidad vertical se toman 1.5 unidades horizontales). Las velocidades son no erosivas, las pendientes son suaves y el coeficiente de rugosidad de 0.030.

Sin embargo, las secciones transversales levantadas que se muestran en las figuras 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c y 2d no se asemejan a las condiciones originales. Importantes modificaciones han sufrido los canales, la erosión ha ensanchado la base y el talud ha dejado de ser trapecial. La pendiente longitudinal del fondo ha variado y en algunos tramos a causa de los depósitos de sedimentos es inversa (se tienen pendientes negativas).

En ciertos tramos los cambios han conducido a que la sección adquiriera otra forma estable y se mantiene en equilibrio como ejemplo podemos señalar la sección 3 del canal CS-10 levantada en el estacionamiento 0 + 645,60. Creemos que en este tipo de suelo y para el funcionamiento que tienen los canales, esa debe ser la sección de diseño.

3.1. La fórmula de flujo normal

En Costa Rica, para determinar los elementos constructivos que otorguen a un canal la capacidad de conducción requerida, se emplea la fórmula de Manning-Strickler que se presenta así:

$$Q = AR^{2/3} S^{1/2} / n \text{-----}(1)$$

donde:

Q= Caudal (en m³/s) volumen de agua que atraviesa una sección del canal por cada segundo.

A= Area mojada de la sección transversal del canal, (m²), cuando por élla pasan Q, m³/s,

R= Radio hidráulico (m) un concepto que representa la contribución de la geometría del canal a su capacidad de conducción. Es la relación entre el área mojada y el perímetro mojado de la sección.

$$R = \frac{A \text{ (m}^2\text{)}}{P \text{ (m)}} \text{-----}(2)$$

P= Perímetro mojado de la sección mojada del canal, en m. Es la línea de las paredes y del fondo del canal que está en contacto con el agua.

S= Pendiente del fondo del canal, supuestamente positiva cuando desciende. No tiene dimensiones. se expresa en m por m, por ejemplo: si $S= 0.001$ significa que el nivel del fondo desciende 1 m por cada 1000 m.

n= coeficiente de rugosidad, expresa la resistencia al flujo de las paredes y del fondo del canal. En general se le presenta sin dimensiones.

Sin embargo, si queremos que la expresión 1 sea dimensional, n debe tener dimensiones de $TL^{-1/3}$.

Excepto las variables n y Q los otros elementos pueden medirse y verificarse durante la construcción y antes de poner en funcionamiento el canal. El caudal Q puede medirse y tener un valor estimado de n. Así se conocerán las condiciones de trabajo de un canal de sección rígida. En los canales en tierra cuya sección cambia y que son afectados por la erosión del flujo del agua, los valores de las dimensiones originales son válidos por un período muy corto. No existe una teoría cuyos principios puedan usarse para el diseño de los canales en tierra, es la experiencia, la observación cuidadosa y la aplicación adecuada de los principios hidráulicos, lo que ayudará a determinar la estabilidad de los canales para reducir los costos de mantenimiento.

3.2. Funcionamiento de los canales CS-10 y CS-10-1

Las condiciones iniciales que se han presentado en el párrafo anterior no duran mucho tiempo. Tan pronto como el flujo de agua se pone en contacto con el canal la energía cinética del agua realiza su trabajo y se producen cambios importantes en la forma del canal. También hay que tener presente que los canales de riego tienen secciones variadas y disponen de estructuras que producen variaciones en los elementos hidráulicos del flujo que se manifiestan en el aumento de la carga hidráulica, en la deposición de sedimentos, en la creación de flujo gradualmente variado, con curva de remanso, que acelera la deposición de sólidos y cambia la pendiente del fondo del canal y establece una pendiente de la superficie libre del agua que deja de ser paralela a la del fondo del canal.

En puntos singulares con el propósito de conservar la pendiente suave que mantenga un flujo subcrítico para facilitar el reparto del caudal hay que producir cambios bruscos en la pendiente (caídas y rápidas) que aguas abajo deben estar dotados de disipadores de energía para que el flujo suave se reestablezca nuevamente. Sin embargo, esto no sucede en los canales en mención donde aguas abajo de cada caída, los canales son fuertemente erosionados requiriéndose la introducción de rocas de masa importantes (0.1 a 0.2 toneladas) para su protección.

En ciertos tramos el canal pasa por debajo del nivel de las tierras de cultivo (bancales de arroz), (margen izquierda del canal CS-10-1). Las filtraciones del agua de riego desequilibran los taludes y se producen deslizamientos (erosión acelerada) y así el canal pierde estabilidad.

La lluvia es otro factor importante que actúa sobre la inestabilidad de los canales y cuyo impacto y escorrentía producen erosión.

El tránsito de vehículos pesados que se desplazan al costado de los canales transmiten sus esfuerzos sobre los taludes y los desestabilizan.

Frente a ese conjunto de fuerzas que actúan sobre los canales éstos requieren para su conservación y funcionamiento permanente, un diseño adecuado y de un mantenimiento periódico.

Asumiendo su responsabilidad el Departamento de Operación y Mantenimiento del Distrito de Riego Arrenal, ha venido efectuando labores curativas de emergencia tales como: protección de taludes mediante enrocado o zampeado, chapias manuales, mecánicas o aplicación de agroquímicos, reparación de compuertas y tomas, etc. Para fines de 1992 se ha programado una rehabilitación de mayores alcances cortándose el suministro de agua por 19 días.

IV. METODOLOGIA DE TRABAJO

Teniendo en cuenta que no hay una teoría definida para el diseño de este tipo de canales y que el dimensionamiento de los elementos constructivos del canal deben determinarse a partir de la experiencia y el buen juicio del responsable se siguió el siguiente procedimiento para proponer la rehabilitación de los canales:

A. Reconocimiento en toda su longitud de los canales CS-10 y CS-10-1 para identificar:

A.1. Las estructuras incluídas en el canal (caídas rápidas, compuertas, pasos, reducciones, ampliaciones, presas, vertederos de excedencias, etc).

A.2. El funcionamiento hidráulico del flujo en el canal.

A.3. Las zonas erosionadas.

A.4. Los tramos en que el canal está en equilibrio con el flujo que conduce.

B. Seleccionar secciones transversales de los canales (cuadro 3 y 4):

B.1. Para conocer el tipo de material que componen los taludes y el fondo del canal; determinar su textura o la composición relativa de arcilla, limo y arena.

B.2. Realizar levantamiento topográfico de las secciones según se indica en los cuadros 3 y 4.

B.3. Determinar las pendientes del fondo del canal y de la superficie libre del agua para cada sección escogida de los dos canales, como se presenta en los cuadros 5 y 6.

C. Analizar las secciones transversales de los diseños originales de los dos canales conforme se muestra en los cuadros 1 y 2.

D. Ilustrar con algunos diseños y fotografías los cambios ocurridos durante el período de funcionamiento de los canales resaltado las diferencias entre las dimensiones originales, la situación antes y después de la rehabilitación.

E. Determinar según la observación de campo, para cada canal, la sección hidráulicamente estable (en equilibrio entre por un lado el caudal que conduce y por el otro el área y perímetro mojados, la pendiente y la forma de la sección transversal). Esta es una sección típica que servirá de modelo para el diseño de los elementos constructivos del canal para las condiciones de funcionamiento.

F. Utilizando los gráficos de las Secciones transversales de los canales, según se indica en las figuras 1 a, 1 b, 1 c, 2 a, 2 b, 2 c y 2 d, se calculan las cantidades de material de río necesarias para reducir la sección de los canales a aquella que debe ser la sección hidráulica deseada según la observación de campo.

G. Empleando la fórmula de Manning, un coeficiente de rugosidad de 0.030, una pendiente de 0.0005. Determinar la capacidad de conducción de cada sección y compararla con la capacidad de diseño original según se muestra en los cuadros 7 y 8.

H. De las observaciones de campo inventariar las necesidades de reparaciones de las compuertas, tomas, taludes para estimar los requerimientos de cemento, arena, piedra, chopo y mano de obra para su ejecución.

I. Elaborar el presupuesto.

J. Seleccionar las secciones donde se instalarán la estación de medición de los caudales.

V. CONSTATAIONES

5.1. Los canales han sido fuertemente erosionados durante el período de funcionamiento. Las causas de la erosión son:

a. El aumento de la velocidad del flujo debido a la reducción de la sección hidráulica como por ejemplo aguas arriba y aguas abajo de los pasos. Los puentes que sirven para la comunicación, constituyen una limitante para el transporte del flujo. La creación de corrientes secundarias y de torbellinos ha erosionado fuertemente los taludes.

b. Aguas abajo de las caídas y rápidas la energía excedente erosiona los taludes.

c. Los deslizamientos por la pérdida de estabilidad de los taludes debido a las filtraciones del agua proveniente de la lluvia y del riego de los bancales de arroz.

5.2. Se observa en los canales:

1. Tramos en desequilibrio: turbulencia, fuerte velocidad en el centro del flujo, transporte de sólidos y erosión de las paredes, y

2. Otros tramos en equilibrio en las que la sección mojada, el perímetro mojado, la pendiente, la velocidad y el caudal del flujo se mantienen sin cambios por un período de tiempo, dándole estabilidad al canal.

5.3. Los canales han aumentado su capacidad de conducción y las secciones transversales son muy irregulares separándose bastante de la sección trapecial original.

La sección estable tiende a ser compuesta rectangular en la parte cubierta por el flujo de agua y trapecial en la parte seca.

La sección estable se localiza a partir de los 100 m. aguas abajo de la cuenca disipadora de energía.

5.4. Debido al aumento de la sección transversal del canal la velocidad del flujo ha disminuido considerablemente conforme se observa en los cuadros 5 y 6. También porque la función de los canales ha variado con la intervención de la granja piscícola que ahora entrega su agua de desagüe al canal CS-10-1.

5.5. Las cuencas de disipación de energía no cumplen cabalmente con su función, les falta capacidad de disipación.

5.6. Los canales no están separados del camino por lo que el paso de los camiones pesados afecta la estabilidad de los taludes.

VI. RESULTADOS

-De acuerdo con los objetivos del trabajo las secciones mostradas en las figuras 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c y 2d, nos indican que los canales CS-10 y CS-10-1 requieren protección en toda su longitud excepto en tramos como el de la sección 3 situada en el canal CS-10 (estacionamiento 0 + 645.60).

-Los tramos aguas abajo de caídas y de pasos requieren de protección, además las cuencas de disipación deben de dotarse de elementos de disipación tales como dados de concreto armado, piedras de 0.1 a 0.2 toneladas u otro dispositivo que aumente la disipación de energía para evitar la erosión aguas abajo.

-Las medidas de rehabilitación deben comprender:

1. La canalización de la sección hidráulica del canal aguas abajo de cada caída. La protección con zampeado o enrocado suelto debe de extenderse 100 m. abajo de la cuenca de disipación según el caudal, la pendiente de 0.0005 y $n = 0.030$, la sección debe ser tal que la velocidad sea igual o inferior a 0.7 m/s.
2. Teniendo en cuenta que las cuencas de disipación dejan un excedente de energía hay que introducir dados para aumentar la capacidad de disipación.
3. Introducir entre el canal y el camino una banquetta de 1 m. que amortigue los efectos producidos por el paso de los camiones pesados.
4. Las bermas del canal deben ser protegidas con vegetación la cual debe ser mantenida manual o mecánicamente evitándose el uso de agroquímicos.

VII. ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE MATERIAL Y LA MANO DE OBRA PARA REHABILITACION DE LOS CANALES CS-10 y CS-10-1

El material para la canalización de los canales CS-10 y CS-10-1 se extraerá del río Cañas. Para la determinación del volumen necesario se ha empleado las secciones de los canales mostradas en las figuras 1 y 2.

Para determinar la cantidad de material se escogió en cada canal una sección estable (los parámetros hidráulicos están en equilibrio) que sirvió de referencia para estimar el área media de trabajo.

Se utilizó el siguiente procedimiento para determinar el volumen de material requerido para reparar la longitud del canal comprendida entre dos secciones conocidas del canal.

1. Se calculó el área de la sección del canal en cada extremidad del tramo considerado del canal (A_1 y A_2).
2. Se calculó el área promedio $= (A_1 + A_2)/2 = A_p$
3. Se calculó el área a trabajar $A_t = A_p - A_2$, $A_2 =$ Es el área de referencia que debe tener el canal para conducir el caudal requerido.

4. Se calculó el volumen de material $V_M = L \times A_p$
 ($V_M =$ Volumen de material en M^3 , $L =$ Longitud de separación
 entre las dos secciones y $A_p =$ Es el área de trabajo para
 rehabilitar el tramo del canal. Los resultados se muestran en
 los cuadros 9 y 10.

Ejemplo: La distancia que separa las secciones 1 y 2 es de
 258 m. Las áreas en las extremidades son: $A_1 = 14.36$; $A_2 = 14.06$

$$A_2 = 5.62$$

$$A_p = \frac{14.36 + 14.06}{2} = 14.21 \text{ m}^2$$

$$A_r = (14.21 - 5.62) = 8.59$$

$$V_M = 258 * 8.59 = 2216.22 \text{ m}^3$$

De la misma manera se procedió para los otros tramos
 obteniéndose que los volúmenes de material requeridos son:

canal CS-10	6.395 m ³
Canal Cs-10-1	<u>14.521</u> m ³
TOTAL	20.916 m³

A medida que se avance en la rehabilitación se pueden hacer los
 ajustes convenientes a los volúmenes requeridos de material.

Igualmente se requiere de materiales para reparaciones
 localizadas cuyas cantidades se estiman globalmente en:

Cemento 210 sacos de 50 kg.
 Arena 25 m³
 Chopo 20 m³
 Piedra 20 m³

La reparación y pintado de compuertas, así como la ejecución
 de los trabajos de zampeado se harán por contrato.

PRESUPUESTO

Para determinar el costo del m³ del material de acarreo se ha
 considerado la maquinaria siguiente que en conjunto permiten que en
 una hora cada una de las cinco vagonetas de 10 m³ de capacidad
 realice dos viajes o sea que transporten 100 m³.

1 cargador €6.000/hora
 1 tractor oruga €7.000/hora
 5 vagonetas €17.500/hora
 1 back hoe €2.500/hora

Costo total de la maquinaria €33.000; costo unitario €330/m³.
 Costo de:

Saco de cemento puesto en obra	€ 550
m ³ de arena	€1.600
m ³ de chopo	€1.000
m ³ de piedra	€ 600

Costo del trabajo:

Materiales:

20.916 m ³ de piedra a €330/m ³	6.902.280
210 sacos de cemento a €550	115.550
25 m ³ de arena a €1.600/m ³	40.000
20 m ³ de chopo a 1000/m ³	20.000
20 m ³ de piedra a 600/m ³	12.000
Contrato de pintura de compuertas 47 (1 x 1.5) y 25 (0.6 x 0.8)	230.000
Contrato de mano de obra del zampeado	657.000
Subtotal	7.976.780
Supervisión 10%	797.678
TOTAL	8.774.458

El Departamento de Operación y Mantenimiento ha tenido urgencia de realizar los trabajos de rehabilitación y no disponía de todo el material requerido por lo que ha realizado sólo parte de la labor en el CS-10-1 y tiene programado realizar progresivamente la rehabilitación del canal CS-10

A partir de 1992, esta labor de mantenimiento se efectuará todos los años en el mismo período, así se mantendrá los canales mencionados en buen estado de funcionamiento.

VIII. LAS SECCIONES DE MEDICION DE CAUDALES

Como parte de la rehabilitación de los canales, debe incluirse la modificación de secciones puntuales de los canales con el fin de instalar limnímetros para medir los cuadales que se transportan para el riego.

En principio se provocará la formación del flujo crítico en el que el caudal es independiente de la rugosidad del canal y hasta cierto grado de inclinación, independiente de la pendiente del fondo del canal. En este caso se crea una relación unívoca (uno a uno), entre el caudal y el tirante crítico. La expresión algebraica puede expresarse así:

$$Q = f(Y_c) \text{-----} 3$$

Donde:

Q= Caudal que atraviesa la sección mojada del canal donde el tirante es Y_c , en m^3/s .

Y_c = Tirante crítico, en m.

De acuerdo con la hidráulica del flujo crítico para un canal rectangular se tiene:

$$gY_c^3 = q^2 \text{-----} 4$$

$$Q = qb \text{-----} 5$$

donde:

g = Aceleración de la gravedad 9.81 m/s^2

q = Caudal unitario, por unidad de ancho $m^3/s\text{-m}$

b = Ancho del canal rectangular, en m

De esta manera conociendo el tirante crítico se conocerá el caudal. Para cada valor del tirante crítico corresponde un valor del caudal, pudiendo construirse una tabla o una curva de la ecuación 3 que facilite la obtención del caudal.

Con este fin las actuales secciones en las caídas serán cambiadas a rectangulares con fondo plano, (cero de pendiente), en los siguientes puntos:

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL CANAL CS-10-1 DE ACUERDO CON LA FIGURA 4

TRAMO	CAUDAL Q m ³ /s	ALTURA H m.	BASE b m	TIRANTE d m.	CORPIC. DE RIGIDIDAD a	VELOCID. V m/s	BORDE LIBRE B.	PENDIENTE e	CORONA C m.	BASE DEL TALUD SE- CO. n So	ANCHO DEL CAMINO m.
0+046.10 a	4.7	3	4	3	0.03	0.7	0.32	0.0005	0.5	1	3.5
3+330											
3+330 a	4.22	1.8	4	1.55	0.03	0.68	0.25	0.0005	0.5	1	3.5
3+551.90											
3+551.90 a	2.02	1.3	2.5	1.10	0.03	0.73	0.20	0.001	0.5	1	3.5
3+928.50											
3+928.50 a	1.52	1.3	2.2	1.11	0.03	0.68	0.19	0.001	0.5	1	3.5

X. CONCLUSIONES

Las observaciones sobre la estabilidad de los canales CS-10 y CS-10-1 y teniendo en cuenta los medios con que se dispone para realizar este tipo de estudios, nos conducen a enunciar las siguientes conclusiones:

1. El deterioro de la sección hidráulica de los canales en mención merece la ejecución de una rehabilitación integral para detener el avance de la erosión, recuperar la forma del relieve y proteger el medio ambiente. La protección debe incluir los taludes, las compuertas, las obras de arte y los caminos.
2. Los pasos o puentes constituyen puntos de reducción de la sección hidráulica, en consecuencia significan lugares de aumento de la energía cinética, de la capacidad erosiva y también de la erosión de las paredes del canal.
3. Los cambios de flujo producidos por la presencia de presas de compuerta reducen la velocidad, facilitan la deposición de sedimentos, con la consiguiente modificación de la pendiente del fondo, la creación del flujo gradualmente variado (curva de remanso) lo que se manifiesta por una modificación de las condiciones hidráulicas.
4. La capacidad disipadora de las cuencas con que se ha dotado a las caídas de los canales, no es suficiente por lo que aguas abajo de estas estructuras hay una energía residual que esta dañando intensamente las paredes de los canales, ensanchando la sección hidráulica, dando a los canales la apariencia de cauces de río.
5. Las paredes de los canales en contacto permanente con el agua presentan forma rectangular, como si este tipo de material (arcilla) en húmedo presentase un ángulo de reposo de 90° . La parte no humedecida presenta un talud por lo que creemos que la sección de funcionamiento de estos canales debe ser mixta, una parte en la base rectangular y luego la parte superior trapecial con talud 1:1.
 - a. La sección transversal de los canales en mención esta constituida por material arcilloso (anexo resultados de laboratorio) material que tiene propiedades expansivas en húmedo y se parte en seco. Dinamismo que se ve favorecido por las características climáticas de la zona (dos épocas de sequía y dos períodos de lluvia). En la época

seca los canales funcionan a su máxima capacidad, la arcilla se imbibes de humedad, se expande y adquiere un equilibrio relativo. En el período húmedo el canal recibe poca agua, el tirante es pequeño la parte seca se resquebraja, los aglomerados caen y pueden ser desintegrados lo que favorece su transporte. Estos ciclos se repiten continuamente lo que da lugar a la erosión acelerada del lecho del canal.

7. En ciertos lugares la rasante de los canales sigue niveles inferiores a aquellos lugares de las terrazas de cultivo y la erosión es masiva tomando la forma de deslizamientos. La inestabilidad de la masa de tierra se debe a las filtraciones tanto del agua de riego como de la lluvia que disminuye la cohesión de las partículas de arcilla. También hay que destacar el ángulo de reposo de la arcilla que es menor en seco que en húmedo.
8. La observación y la reflexión sobre el comportamiento del tipo de material de las estructuras y de las condiciones hidráulicas son los elementos que deben usarse para el diseño adecuado de los canales en tierra para riego.

XI. RECOMENDACIONES

1. Dada la forma particular de funcionamiento de los canales de riego (con fluctuaciones tanto en el tiempo como en el espacio de los tirantes de agua) una protección con material flexible puede ser conveniente. En ese sentido la reconstrucción de la sección transversal de los canales, en sus diferentes puntos en que se requiera, se hará con gabiones o rocas acomodadas manual o mecánicamente, las partículas de suelo pueden sellar los espacios con el tiempo. La flexibilidad es necesaria para soportar el impacto y los cambios del tirante, la subpresión y el empuje de la tierra de las paredes.
2. Donde y cuando no sea necesario represar el flujo, retirar las compuertas represadas para que el flujo arrastre el material acumulado y no favorezca la deposición de sedimentos.
3. Cuando se requiere introducir reducciones o ampliaciones en la sección de los canales, estas deben hacerse como transiciones hidráulicamente diseñadas para evitar cambios bruscos del flujo que erosionan las taludes.

4. Debe de aumentarse la capacidad de disipación de las cuencas de disipación de energía. La capacidad debe crecer con el aumento de la energía por disipar. Como una referencia podría usarse la siguiente relación "Se necesita un m³ de cuenca de disipación por cada 750 N-m". Los datos de concreto armado ayudan a la disipación de energía.
5. En los canales en tierra, aguas abajo de las cuencas de disipación se debe proteger las paredes del canal una longitud de 100 m. para ayudar a disipar la energía residual.
6. Debe de incluirse entre el canal y el camino carrosable una banqueta de 1 m. de ancho para que absorba los esfuerzos transmitidos por los vehículos pesados.
7. La labor de mantenimiento debe de realizarse periódicamente de acuerdo a una programación anual, que no interfiera con las labores de riego, para lo cual los productores deben de respetar las fechas de siembra y cosecha.
8. Para mejorar la operación del sistema de riego es necesario incluir como parte de la rehabilitación de los canales, la instalación de las estaciones de medición de caudales, para lo cual se modificará la sección transversal que pasará de trapecial a rectangular vigilando que el fondo sea horizontal por una longitud de 5 metros.
9. Donde haya deslizamiento de los taludes considerar la instalación de un sistema de drenaje para captar las filtraciones y también rehabilitar el talud.
10. Hasta donde sea posible, respetar la planificación del uso de la tierra para que sólo se dediquen al cultivo de arroz las tierras que tienen aptitud (altamente retentivas).
11. La labor de mantenimiento puede verse favorecida con la intervención organizada de los usuarios por lo que debe de propiciarse la formación de la Asociación de Regantes del Distrito de Riego Arenal y también las sub-Asociaciones de los Subdistritos.
12. Para financiar los costos del mantenimiento por medio de la tarifa de riego es conveniente preparar previamente las cantidades de obra y el presupuesto. Para esto debe fijarse una fecha su elaboración.

XII. BIBLIOGRAFIA

1. **CHOW- VEN-TE 1959. Open Channel Hydraulics. Internacional Student Edition. Mc Graw-Hill. Kogakusha Ltda. Tokio.**

ANEXO 1

CUADROS SOBRE LAS CARACTERISTICAS DE LOS

CANALES CS-10 Y CS-10-1

CUADRO NO.1

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS ORIGINALES DEL CANAL CS-10
DISTRITO DE RIEGO ARENAL

L	CAUDAL M ³ /s	ALTURA E. a	ANCHO DE LA BASE b m.	TALUD z	PIRANTE d m	CORONA c m.	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD n.	VELOCIDAD v. m/s	BORDE LIBRE bl m. s	PENDIENTE DEL FONDO m. s
52	5.85	2.15	2.00	1.5	1.98	2.5	0.030	0.77	0.27	0.0005
	6.75	2.15	2.00	1.5	1.86	2.5	0.030	0.76	0.29	0.0005
	2.05	1.40	1.00	1.5	1.09	1.5	0.030	0.73	0.32	0.001
	1.95	1.40	1.00	1.5	1.05	1.5	0.030	0.73	0.35	0.001
08	1.35	1.30	1.00	1.5	1.03	1.5	0.030	0.71	0.27	0.001
73 73	1.55	1.30	1.00	1.5	0.95	1.5	0.030	0.69	0.35	0.001
83 29	1.40	1.20	1.00	1.5	0.90	1.5	0.030	0.66	0.30	0.001
29 08	1.35	1.20	1.00	1.5	0.88	1.5	0.030	0.65	0.32	0.001
08	1.3	1.20	1.00	1.5	0.87	1.5	0.030	0.65	0.33	0.001
7.01	1.15	1.20	0.80	1.5	0.87	1.5	0.030	0.64	0.33	0.001
01 02	0.900	1.00	0.80	1.5	0.70	1.5	0.030	0.69	0.30	0.0015
02 57	0.600	0.90	0.80	1.5	0.58	1.5	0.030	0.61	0.32	0.0015
57 02	0.250	0.70	0.50	1.5	0.40	1.5	0.030	0.55	0.30	0.002
02	0.190	0.50	0.50	1.5	0.23	1.0	0.030	0.41	0.24	0.002
015	0.100	0.50	0.50	1.5	0.23	1.0	0.030	0.51	0.27	0.003

CUADRO NO. 2

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS ORIGINALES DEL CANAL CS-10-1
DISTRITO DE RIEGO ARENAL

TRAMO DEL CANAL	CAUDAL Q m ³ /s	ALTURA H. m.	ANCHO DE LA BASE b m.	TALUD z	TIRANTE d m	CORONA c m.	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD n.	VELOCIDAD v. m/s	BORDE LIBRE bl s	PENDIENTE DEL FONDO s
0+404.12 0+750	4.7	1.9	1.75	1.5	1.63	1.00	0.030	0.7	0.27	0.0005
0.750 1+300	4.6	1.9	1.75	1.5	1.61	1.00	0.030	0.69	0.29	0.0005
1+300 1+475	4.55	1.9	1.75	1.5	1.60	1.00	0.030	0.69	0.30	0.0005
1+475 1+775	4.50	1.9	1.75	1.5	1.59	1.00	0.030	0.68	0.31	0.0005
1+775 2+380	4.35	1.75	1.50	1.5	1.39	1.00	0.030	0.87	0.36	0.001
2+380 3+025	4.00	1.70	1.50	1.5	1.33	1.00	0.030	0.86	0.37	0.001
3+025 3+685.45	3.80	1.70	1.5	1.5	1.30	1.00	0.030	0.85	0.40	0.001
3+685.45 4+600.00	2.55	1.50	1.0	1.5	1.19	1.00	0.030	0.90	0.31	0.001
4+600 5+525	2.05	1.30	1.0	1.5	1.07	1.00	0.030	0.73	0.23	0.001

CUADRO NO.3

**LOCALIZACION DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES ESCOGIDAS
EN EL CANAL CS-10 PARA EL ESTUDIO DE SU REHABILITACION**

ESTRUCTURAS	ESTACIONAMIENTO
Paso Canal Sur	0 + 005
Paso Agua corp.	0 + 0.15
Represa Agua corp.	0 + 021
Sección No. 1 Caída (h.0.57)	0 + 115
Paso	0 + 320
Represa (Ah= 1.04)	0 + 325
Sección No.2	0 + 373
Caída (Ah=0.63)	0 + 400
Represa CS-10-1	0 + 526
Paso	0 + 537
Represa (Ah= 1,00 m)	0 + 546
Paso	0 + 600
Sección No.3	0 + 645.60
Caída (Ah= 1.00 m)	0 + 700
Sección NO.4	0 + 827.30
Caída (Ah= 0.90 m)	0 + 900
Paso	1 + 000
Represa (Ah=0.60 m)	1 + 050.67
Caída (Ah= 1.00 m)	1 + 140
Sección NO.5	1 + 213.40
Caída (Ah= 1.00 m)	1 + 260
Sección NO.6	1 + 391.40
Paso	1 + 430
Represa (Ah= 0.83 m)	1 + 516.08
Caída (Ah=1.00 m)	1 + 560
Caída (Ah= 1.00 m)	1 + 660
Paso	1 + 800
Caída (Ah= 1.20)	1 + 820
Represa (Ah=0.78)	1 + 969.73
Sección No.7	2 + 017
Caída (Ah= 1.00 m)	2 + 040
Caída (Ah= 1.20 m)	2 + 120
Caída (Ah= 1.20 m)	2 + 320
Sección No.8	2 + 423,50
Represa (Ah=0.52 m)	2 + 491,83
Paso	2 + 500
Caída (Ah= 1.20 m)	2 + 560
Caída (Ah= 1.20 m)	2 + 700

CONTINUACION CUADRO NO.3

Represa (Ah=1.20 m)	2 + 891,29
Paso	2 + 900
Sección No.9	3 + 365.40
Caída (Ah= 1.20 m)	3 + 420
Represa (Ah= 1.20 m)	3 + 540
Paso	3 + 555
Alcantarilla	3 + 775
Sección No.10	3 + 816.82
Represa (Ah=0.34)	3 + 956.02 ó
	4 + 326.08
Paso	4 + 530
Represa (Ah=0.00)	4 + 535
Represa (Ah= 0.91)	4 + 800
Paso	5 + 020
Represa (Ah= 0.17 m)	5 + 035
Represa (Ah= 1.30 m)	5 + 213.82
Paso	5 + 220
Sección No.11	5 + 255.70
Paso	5 + 690
Represa (Ah= 1.40 m)	5 + 704.57
Paso	5 + 710
Represa (Ah= 0.00 m)	5 + 715
Sección No.12	5 + 820.50
Represa	5 + 992.02
Paso	6 + 000
Sección No.13	6 + 159.80
Estructura aforadora (Ah= 1.13 m)	6 + 360

CUADRO No. 4

LOCALIZACION DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES ESCOGIDAS EN EL
CANAL CS-10-1 PARA EL ESTUDIO DE SU REHABILITACION

ESTRUCTURA	ESTACIONAMIENTO
Toma Cs-10-1	0 + 404.12
Paso	0 + 500
Sección No.1	0 + 646.10
Represa (Ah=1.29 m)	0 + 750
Paso	0 + 840
Caída	0 + 880
Sección No.2	0 + 968
Caída (Ah=1.00 m)	1 + 000
Paso	1 + 080
Sección No. 3	1 + 208.80
Represa (Ah=0.73 m)	1 + 300
Represa (Ah=0.87 m)	1 + 475
Caída (Ah=1.00 m)	1 + 620
Paso	1 + 640
Sección No.4	1 + 685.50
Represa (Ah=2.00 m)	1 + 775
Paso	1 + 790
Sección No.5	1 + 825
Represa (Ah=2.20 m)	2 + 380
Sección No.6	2 + 416.10
Paso	2 + 420
Represa (Ah=2.00 m)	2 + 580
Sección NO.7	2 + 651
Caída (Ah=1.50 m)	2 + 725
Sección NO.8	2 + 786.40
Sección No.9	2 + 918.40
Represa (Ah=1.50 m)	3 + 002
Paso	3 + 008
Caída	3 + 280
Sección No.10	3 + 330
Sección No.11	3 + 551.90
Paso	3 + 668
Represa (Ah=1.54 m)	3 + 685.45
Caída (Ah=1.50 m)	3 + 900
Sección No.12	3 + 928.50
Caída (Ah=1.00 m)	3 + 300
Cruce de Taboga	4 + 467.26
Sección No.13	4 + 501.26
Represa (Ah=0.80 m) (hortigal)	4 + 600
Caída	4 + 666
Paso	4 + 793
Sección No.14	4 + 850
Caída	5 + 116
Sección No.15	5 + 170
Paso	5 + 216

CUADRO NO.5
PENDIENTES, FORMA DE LA SECCION Y TEXTURA DE LAS SECCIONES
ESCOGIDAS EN EL CANAL CS-10 PARA SU REHABILITACION

SECCION	ESTACION	TEXTURA DE LAS TALUDES		VELOCIDAD M/S	CAUDAL Q (M ³ /S)	PENDIENTE		FORMA ACTUAL DE LA SECCION DEL CANAL
		MD	MI			FONDO	LAN.AGUA	
1	0+115	A	A	0.32	1.689	0.0027	0.0007	Parábólica
2	0+373	A	A			-0.0041	0.0000	casi rectangular
3	0+645.60	A	A	0.52	1.858	-0.0003	-0.0013	Parabólica
4	0+827.30	A	A			0.0008	0.0008	casi parabólica
5	0+213.40	A	PA	0.56	1.661	0.0025	0.0007	Parabólica
6	1+391.40	PA	PA			0.0000	0.0003	casi rectangular
7	2+017	PA	PA	0.51	1.253	0.0007	0.0000	Parabólica
8	2+423.50	PA	A			0.0032	0.0002	Parabólica
9	3+365.40	PA	PA	0.46	1.017	0.0013	0.0010	casi parabólica
10	3+816.82	PA	A			0.0037	0.0003	casi rectangular
11	5+255.70	A	A	0.55	0.479	0.0008	0.0007	casi rectangular
12	5+820.50	A	A			0.0022	0.0023	parabólica
13	6+159.80	A	A	0.42	6.153	0.0030	0.0033	rectangular

MD= Margen derecha
MI= Margen izquierda
PA= Franco-Arcilloso
A= Arcilloso

CUADRO NO.6
PENDIENTES, FORMA DE LA SECCION Y TEXTURA DE LAS SECCIONES
ESCOGIDAS EN EL CANAL CS-10-1 PARA SU REHABILITACION

SECCION	ESTACION	TEXTURA DE LAS TALUDES			PENDIENTE				FORMA ACTUAL DE LA SECCION DEL CANAL
		MD	MI	FONDO	VELOCIDAD (m/s)	Q (M ³ /S)	FONDO	LAN.AGUA	
1	0+646.10						0.0037	0.0002	Trapezoidal
2	0.968	A	A	F	0.52	2.413	0.0020	0.0003	Parabólica
3	1+208.80	A	A	A			-0.0022	0.0007	casi parabólica
4	1+685.50	F	Fa	F			0.0108	0.0005	Trapezoidal
5	1+825	A	A	A	0.67	2.731	0.0045	0.0020	Trapezoidal
6	2+416.10	FAa	F	F	0.65	2.272	0.0033	0.0013	Trapezoidal
7	2+651	A	A	A			0.0116	0.0025	Parabólica
8	2+786.40	A	A	A			0.0108	0.0015	Parabólica
9	2+918.40	A	A	A			0.0018	1.0003	Trapezoidal
10	3+330	A	A	Fa	0.52	2.349	-0.0032	0.0007	rectangular
11	3+551.90	A	A	A			-0.0005	0.0002	rectangular
12	3+928.50	A	A	A	0.50	0.669	-0.0073	0.0029	parabólica
13	4+501.26	A	A	A	0.37	0.550	-0.0038	0.0002	rectangular
14	4+850	A	A	A			0.0042		triangular
15	5+170	A	A	A			0.0005		parabólica

MD= Margen derecha
MI= Margen izquierda
A = Arcilloso
F = Franco
FA= Franco Arcilloso
FAa= Franco Arcillo-Arenoso
Fa= Franco Arenoso

CUAEDO NO.7
 CARACTERISTICAS HIDRAULICAS Y CAPACIDAD DE CONDUCCION DEL CANAL
 CS-10 EN NOVIEMBRE DE 1992
 I= 0.0005: (\sqrt{I})= 0.02236
 n= 0.030: ($\sqrt{I/n}$)= 0.7453559

SECCION	AREA MOJADA A m ²	PERIMETRO MOJADO P m	RADIO HIDRAULICO Rh m.	(Rh) ^{2/3}	VELOCIDAD V m/s	CAUDAL Q m ³ /s	Q Diseño m ³ /s	Q DE FUN- CIONAM. m ³ /s
1	0+041	14.36	10.70	1.342	1.2167	0.9069	13.02	3.33
2	0+152	14.06	10.85	1.296	1.1886	0.8859	12.46	2.39
3	0+645	5.62	6.58	0.854	0.9	0.671	3.49	2.48
4	0+823.3	6.21	6.75	0.92	0.946	0.705	4.38	1.96
5	1+213.4	7.24	7.49	0.958	0.978	0.728	5.28	1.52
6	1+391.4	5.44	6.42	0.847	0.895	0.667	3.55	0.94
7	2+017	4.77	5.86	0.814	0.872	0.650	3.10	0.24
8	2+423.5	4.82	5.90	0.817	0.874	0.651	3.14	0.24
9	3+365.4	5.02	6.15	0.816	0.873	0.651	3.27	1.24
10	4+186.88	4.10	6.07	0.875	0.77	0.574	2.35	0.68
11	5+255.7	5.08	7.05	0.72	0.804	0.539	3.04	0.41
12	5+820.5	1.40	3.12	0.449	0.586	0.437	0.61	0.52
13	6+159.8	1.14	3.40	0.335	0.483	0.360	0.41	0.67

CUADRO NO.8
CARACTERISTICAS HIDRAULICAS Y CAPACIDAD DE CONDUCCION DEL CANAL
CS-10-1 EN NOVIEMBRE DE 1992
I= 0.0005; (\sqrt{I})= 0.02236
n= 0.030; ($\sqrt{I/n}$)= 0.7453559

SECCION	AREA MOJADA A m ²	PERIMETRO MOJADO P m	RADIO HIDRAULICO R _h m.	(R _h) ^{2/3}	VELOCIDAD V m/s	CAUDAL Q m ³ /s	Q Diseño m ³ /s	Q DE FU CIONAM. m ³ /s	
2	0+968	9.10	8.35	1.089	1.059	0.789	7.18	4.60	1.42
3	1+209	15.75	12.59	1.251	1.161	0.865	13.63	4.60	2.02
4	1+685	9.95	9.30	1.070	1.046	0.78	7.76	4.50	3.12
5	1+825	17.38	12.08	1.439	1.274	0.95	16.50	4.35	4.31
6	2+416	18.08	11.77	1.536	1.331	0.992	17.94	4.00	4.06
7	2+651	11.80	9.68	1.219	1.141	0.85	10.03	4.00	3.99
8	2+786	19.19	13.35	1.437	1.274	0.95	18.22	4.00	4.43
9	2+918	11.95	9.69	1.233	1.15	0.857	10.24	4.00	2.29
10	3+330	21.95	13.14	1.67	1.408	1.049	23.04	3.80	5.15
11	3+552	10.10	9.63	1.04	1.032	0.769	7.77	3.80	2.70
12	3+928	14.62	10.53	1.388	1.245	0.928	13.57	2.55	1.71
13	4+501	2.33	3.65	0.638	0.741	0.552	1.287	2.55	0.87
14	4+850	2.59	4.45	0.582	0.697	0.52	1.345	2.05	0.87
15	5+170	1.86	3.38	0.491	0.622	0.464	0.770	2.05	0.87

CUADRO NO. 9

CANTIDAD DE MATERIAL (PIEDRA DE RIO) PARA
REHABILITAR EL CANAL CS-10

TRAMO	LONGITUD M.	AREA PROMEDIO M ²	VOLUMEN M ³
0-1	115	8.74	1005
1-2	258	8.59	2216
2-3	273	4.22	1152
3-4	181	0.259	53
4-5	386	1.105	427
5-6	178	1.57	279
6-7	626	0.335	210
7-8	406	0.025	10
8-9	942	0.15	141
9-10	822	0.46	378
10-11	1069	0.49	524
TOTAL	5256		6395

CUADRO NO.10

**CANTIDAD DE MATERIAL (PIEDRA DE RIO) PARA
REHABILITAR EL CANAL CS-10-1**

TRAMO	LONGITUD m.	AREA PROMEDIO m²	VOLUMEN m³
1-2	322 m.	(2.475 m ²) =	797 m ³
2-3	241 m.	(2.9 m ²) =	699 m ³
3-4	477 m.	(0.415 m ²) =	198 m ³
4-5	140 m.	(4.13 m ²) =	578 m ³
5-6	591 m.	(7.78 m ²) =	4598 m ³
6-7	235 m.	(4.99 m ²) =	1173 m ³
7-8	135 m.	(5.545 m ²) =	749 m ³
8-9	132 m.	(5.62 m ²) =	742 m ³
9-10	412 m.	(6.85 m ²) =	2822 m ³
10-11	222 m.	(5.925 m ²) =	1315 m ³
11-12	376 m.	(2.26 m ²) =	850 m ³
TOTAL	3283		14.521 m³

ANEXO 2

FIGURAS SOBRE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

DE LOS CANALES CS-10 Y CS-10-1

SECCIONES EN CANAL CS-10

FIGURA 1 a. (1 a 4)

ESTUDIO DE REHABILITACION DEL CANAL CS-10

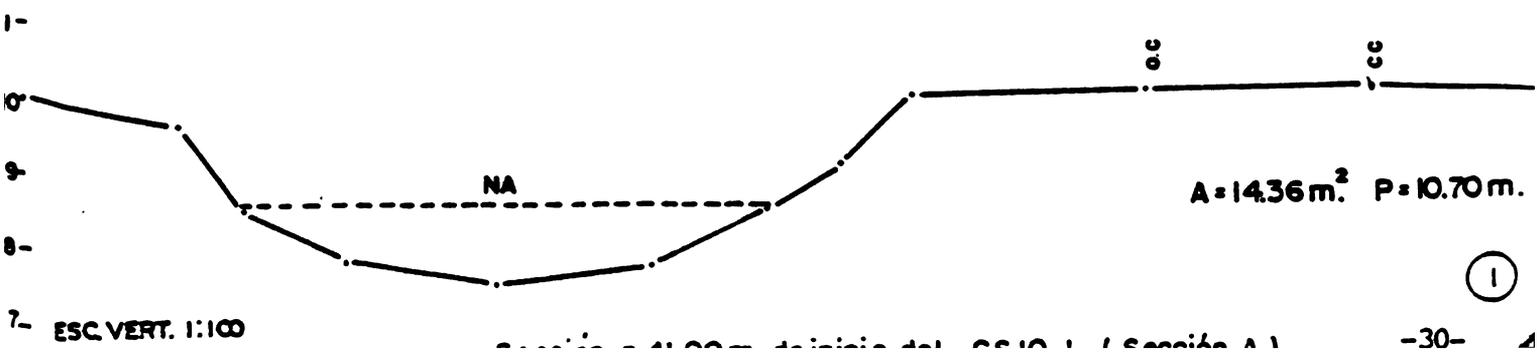
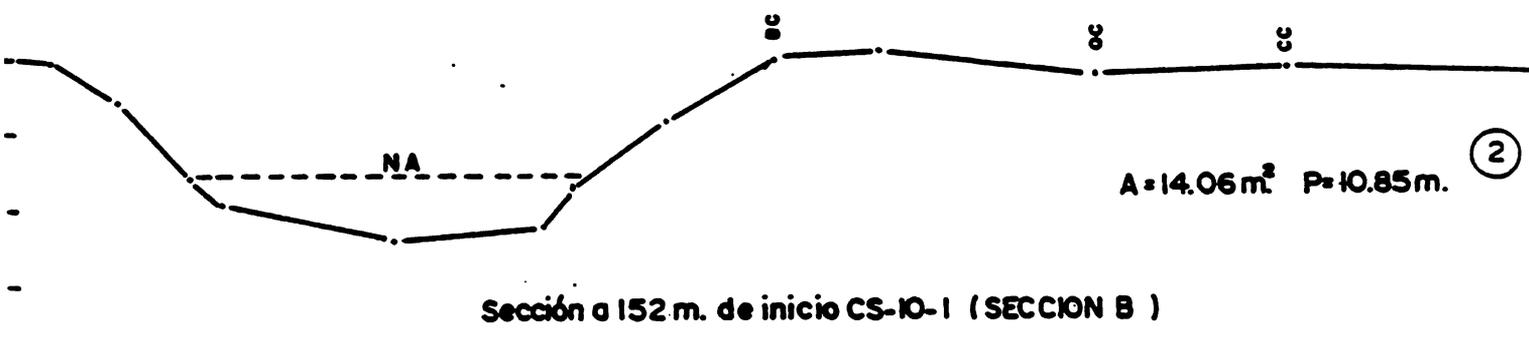
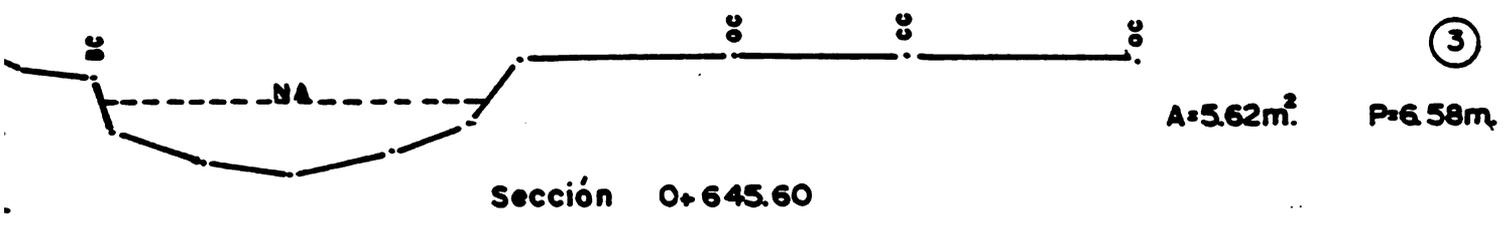
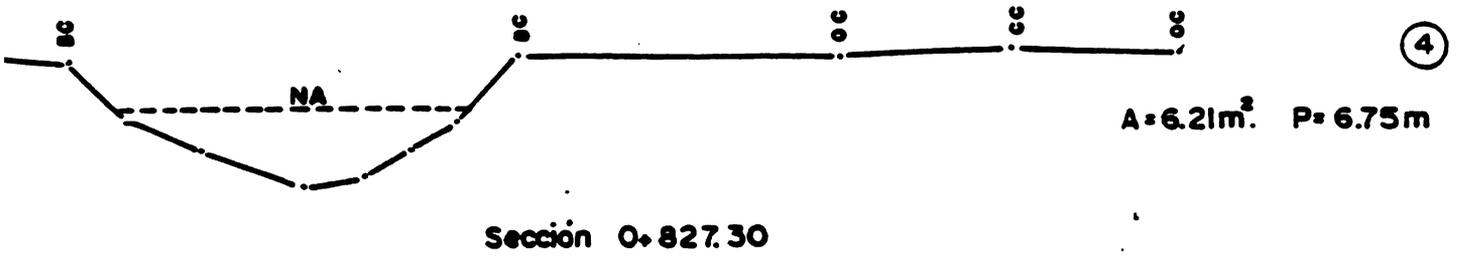


FIGURA 1 b. SECCIONES DEL CANAL CS-10 (5-9)
ESTUDIO DE REHABILITACION DEL CANAL

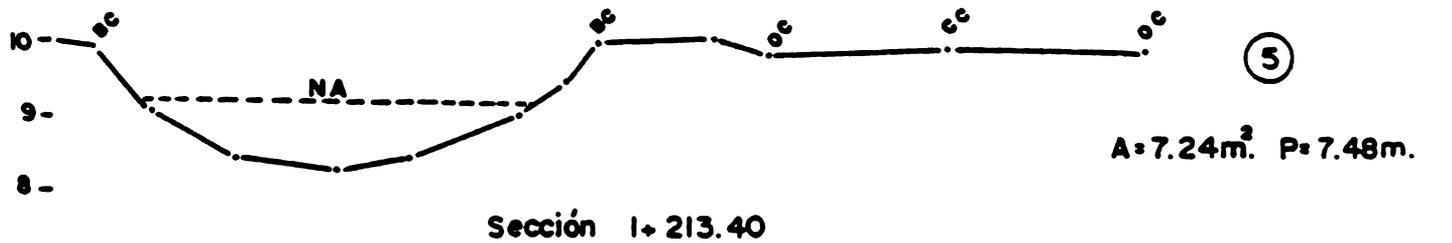
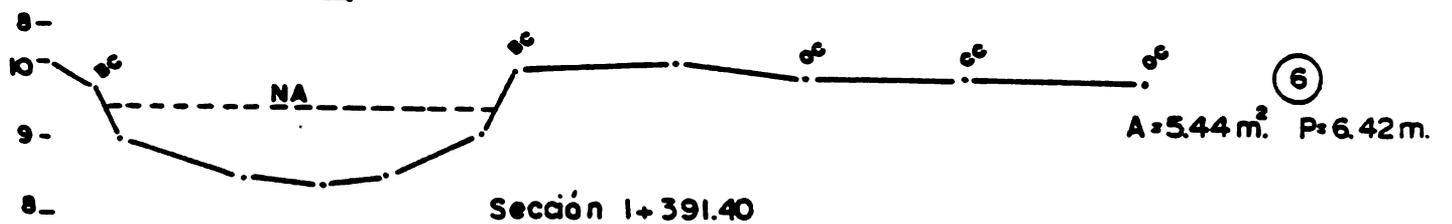
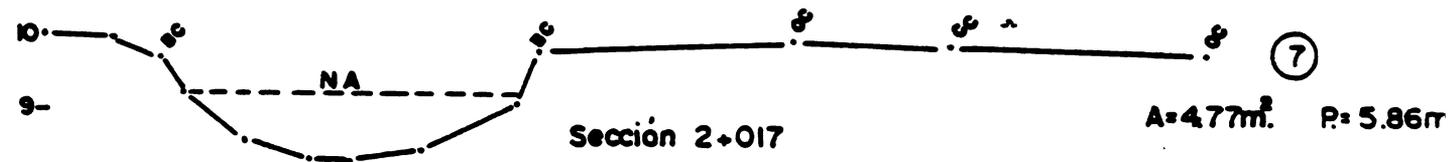
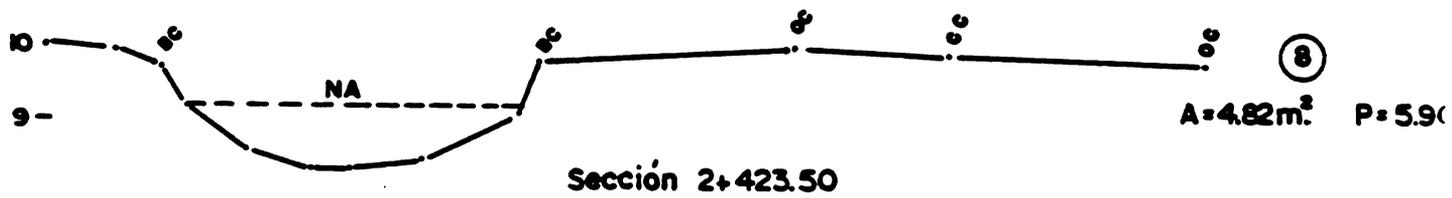
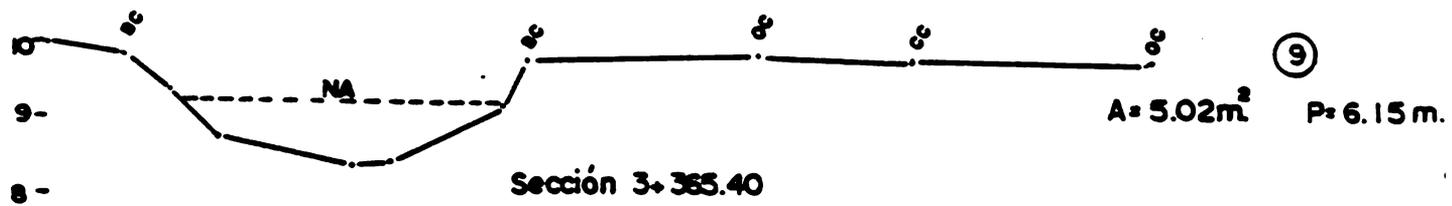
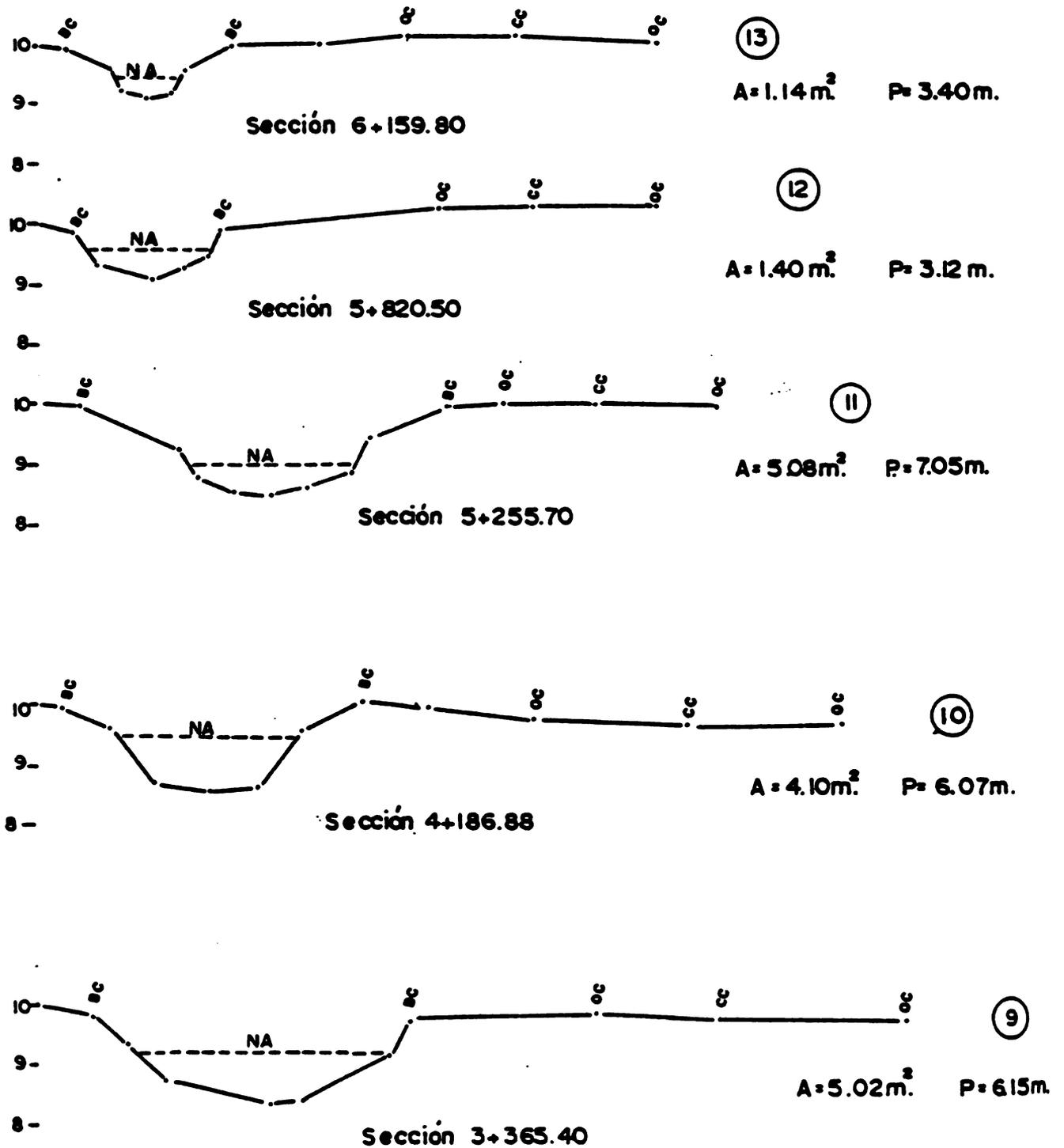


FIGURA 1C. SECCIONES DEL CANAL CS-10 (9-13)
ESTUDIO DE REHABILITACION DEL CANAL

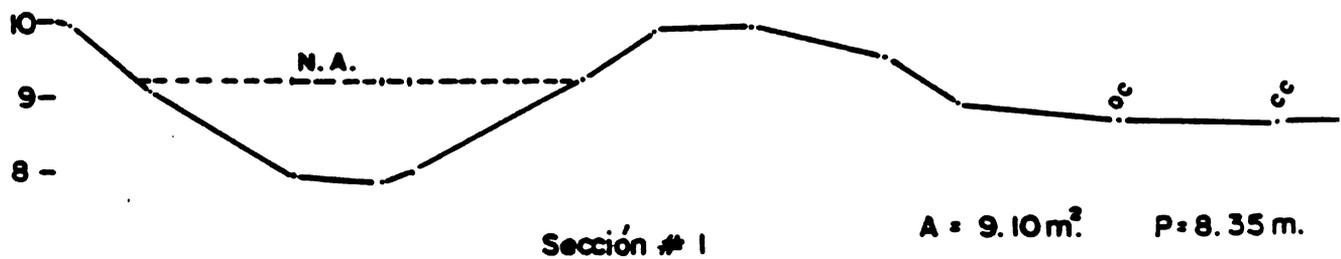
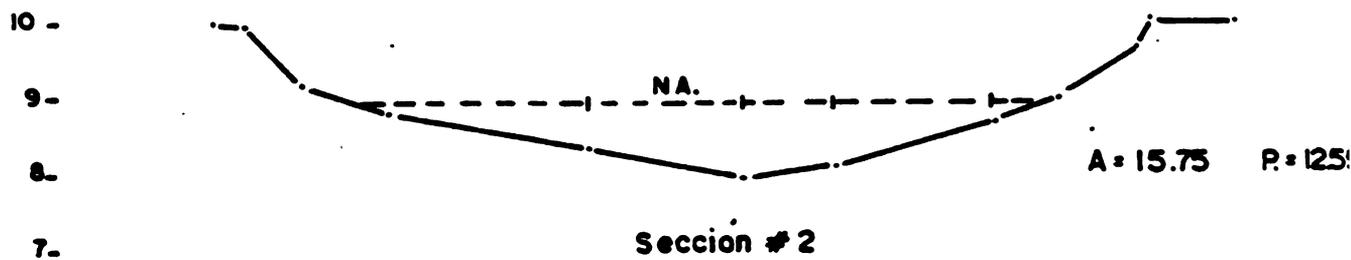
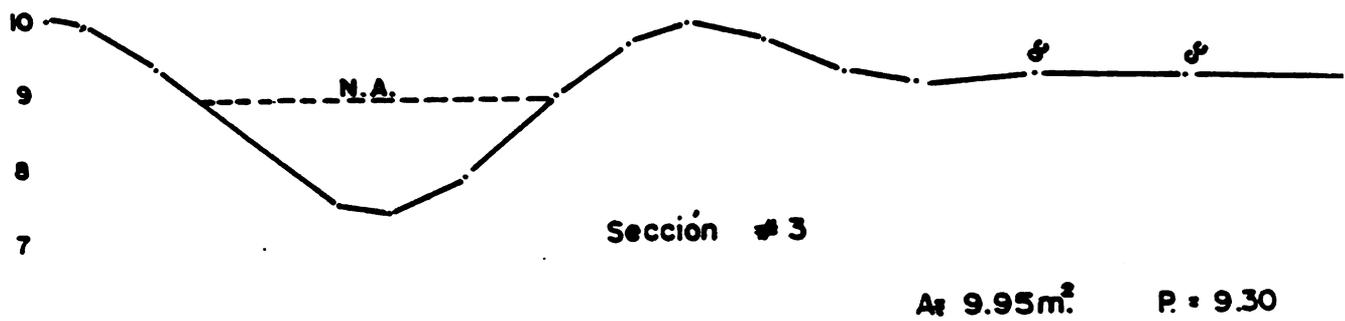
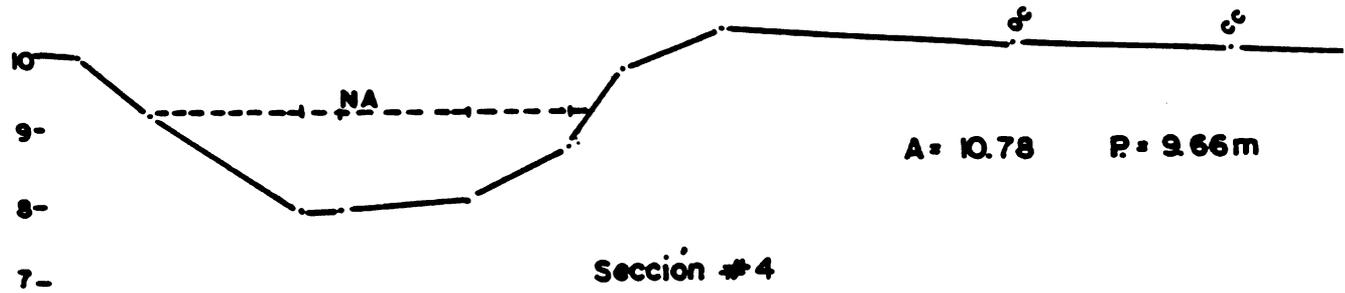


SECCIONES CANAL CS-10-1

FIGURA 2 a.

(1 a 4)

ESTUDIO DE REHABILITACION DEL CANAL



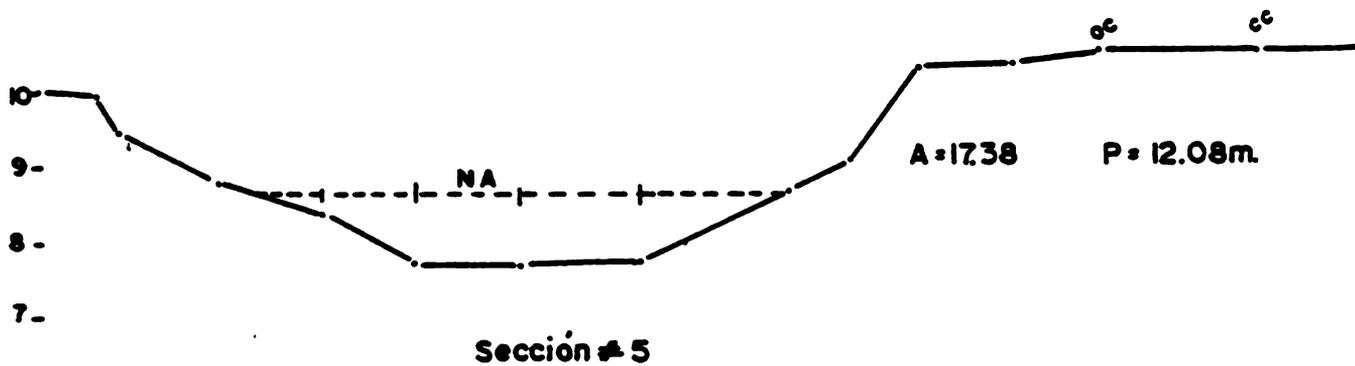
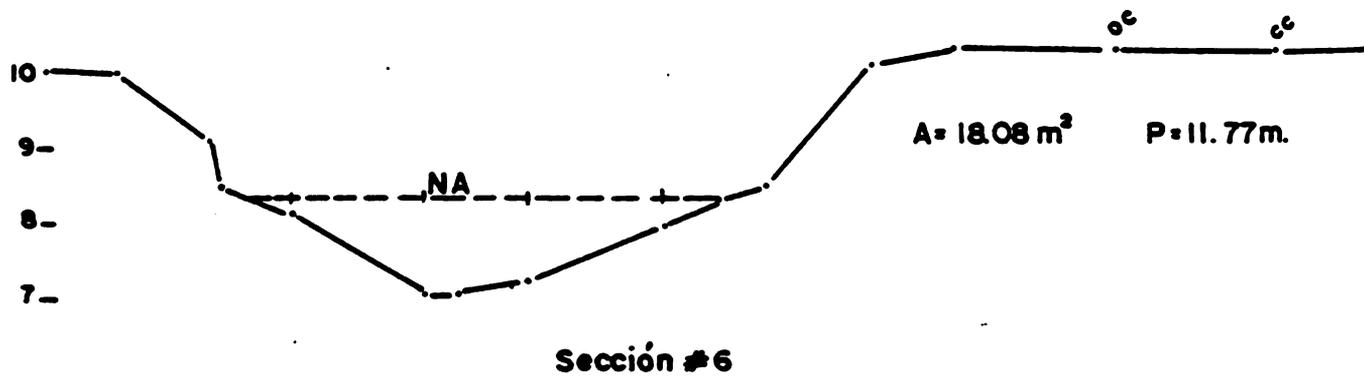
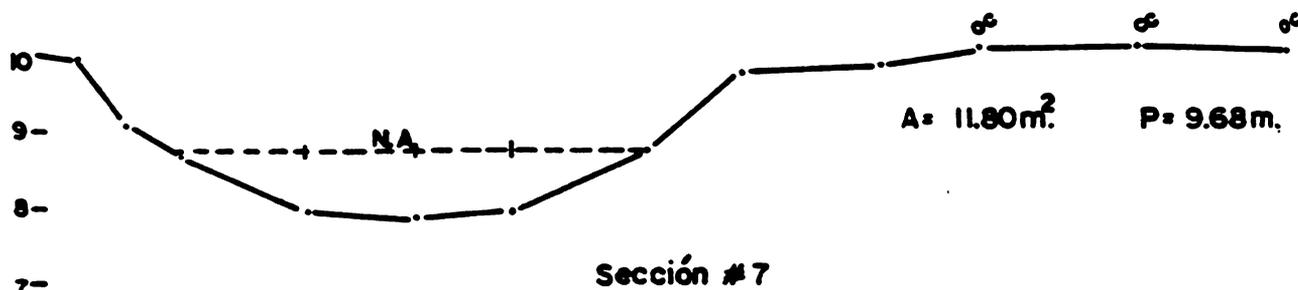
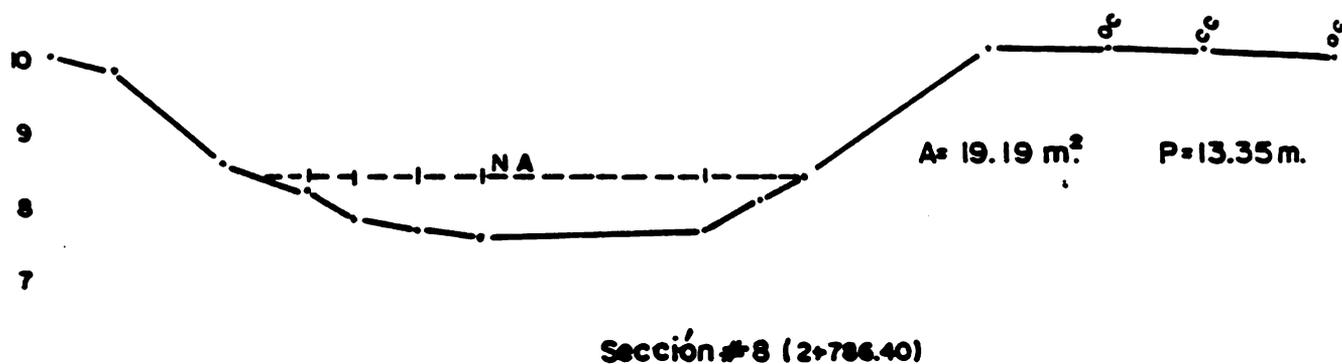


FIGURA 2 c. SECCIONES DEL CANAL CS-10-1 (9 a 11)

ESTUDIO DE LA REHABILITACION DEL CANAL

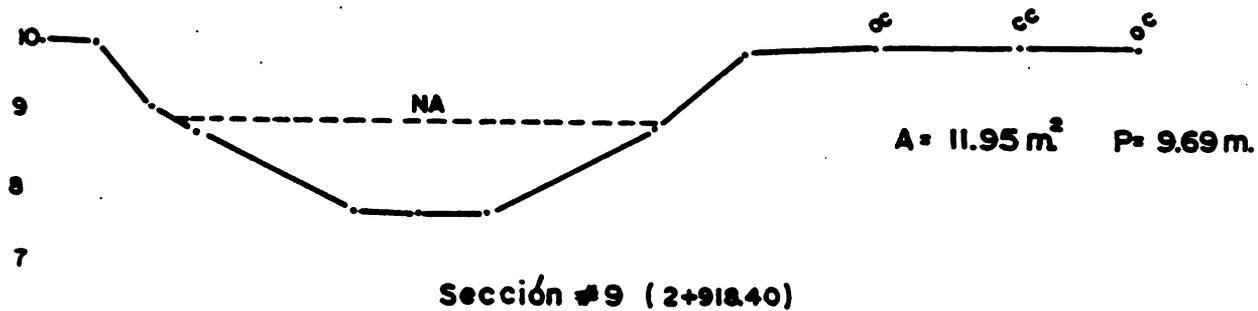
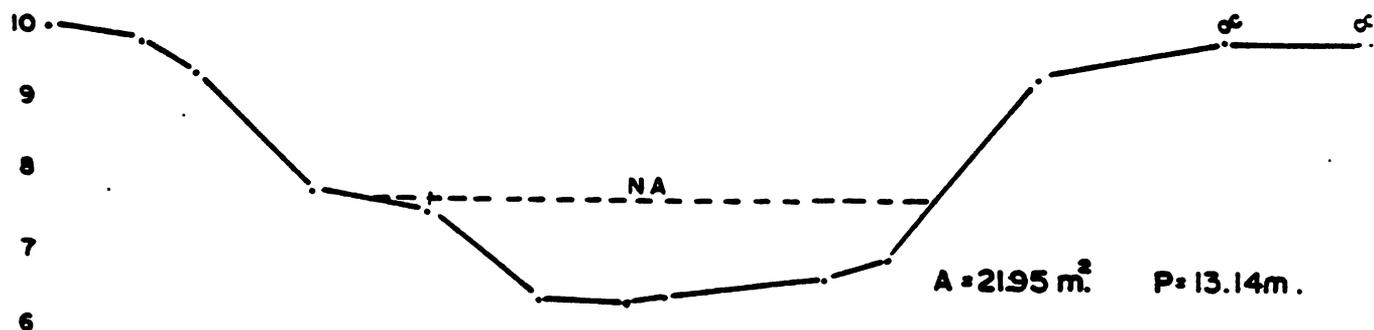
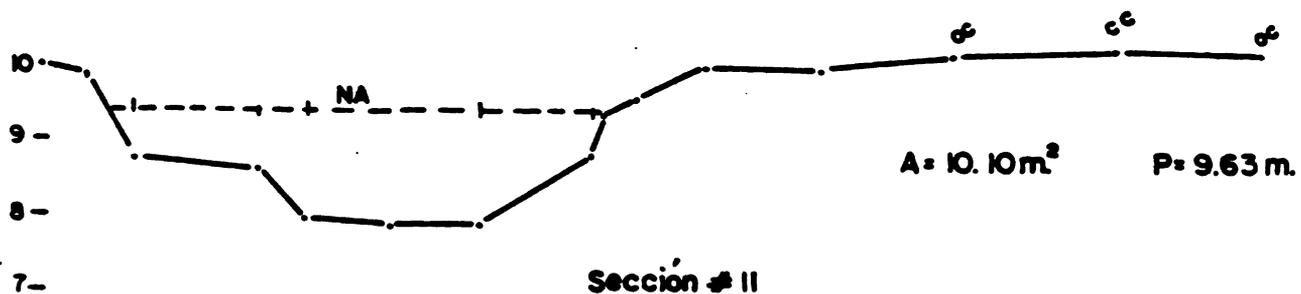
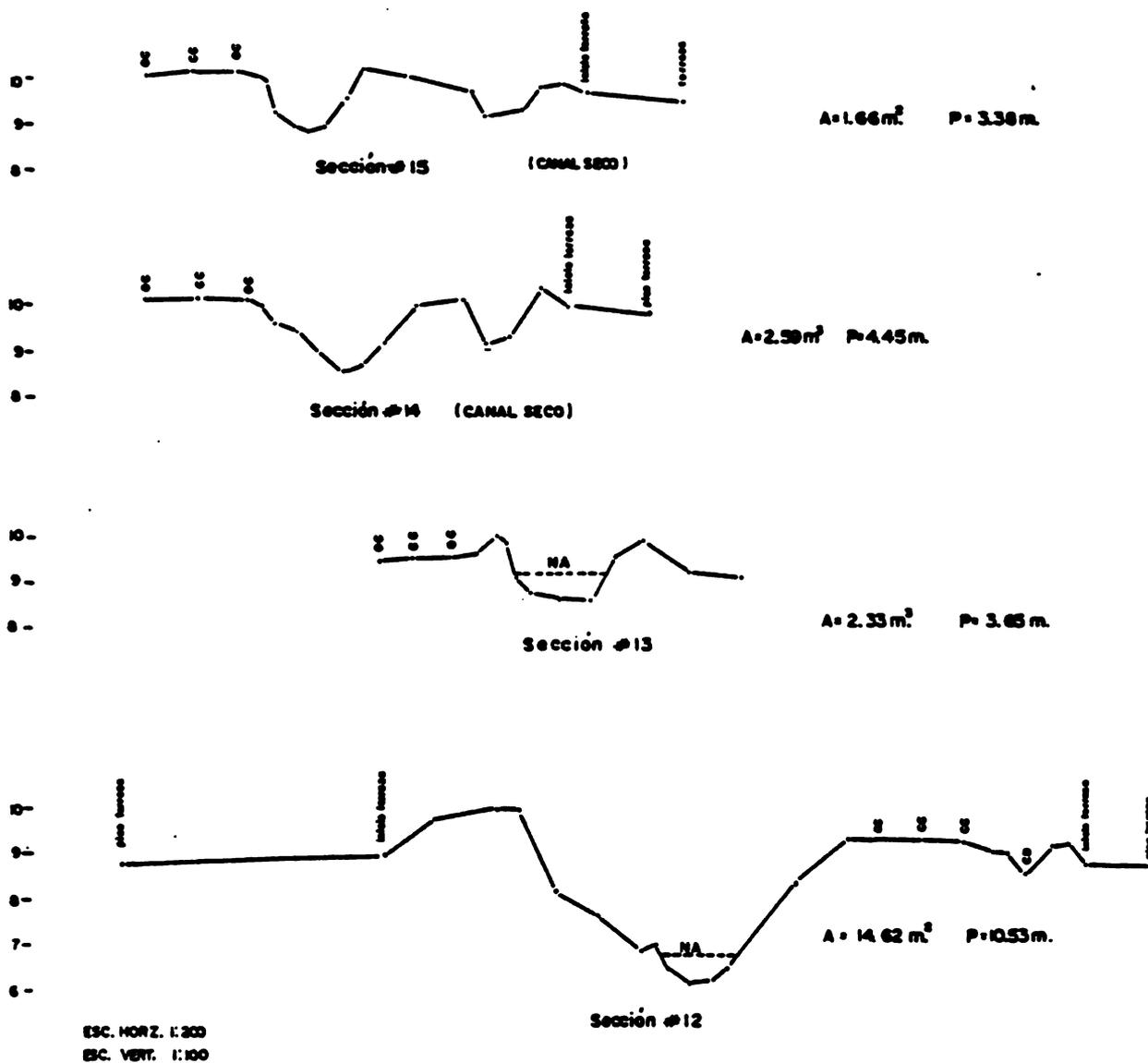
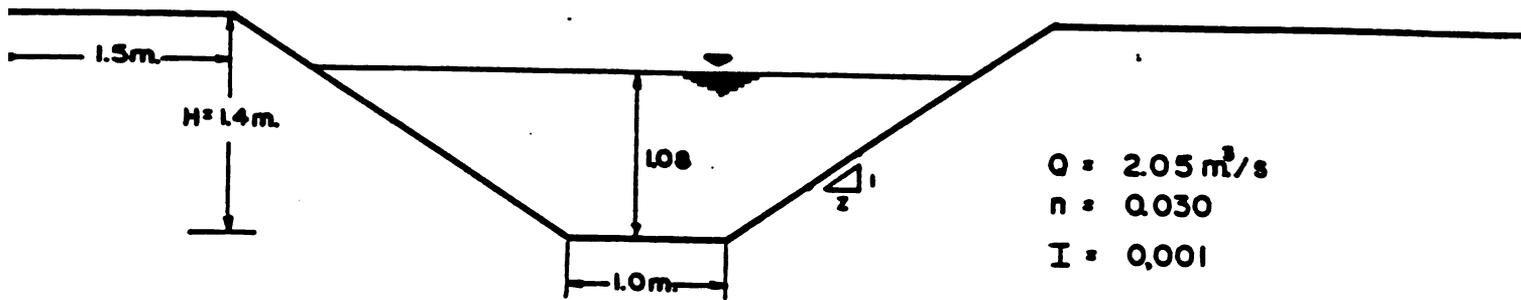


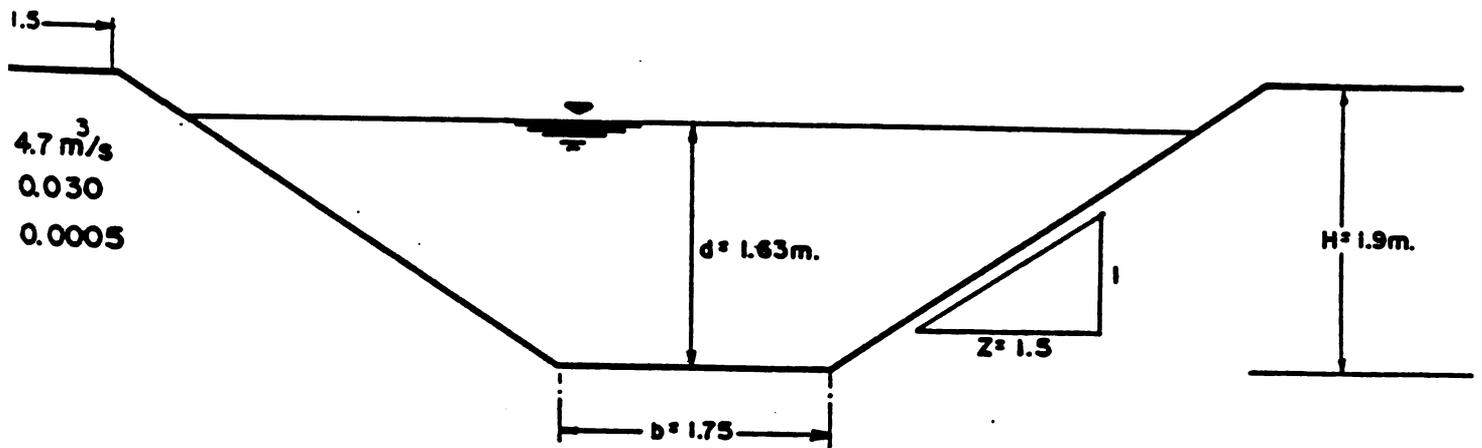
FIGURA 2 d. SECCIONES DEL CANAL CS-10-1 (12-15)
REDUCCION AL 65%
ESTUDIO DE REHABILITACION DEL CANAL





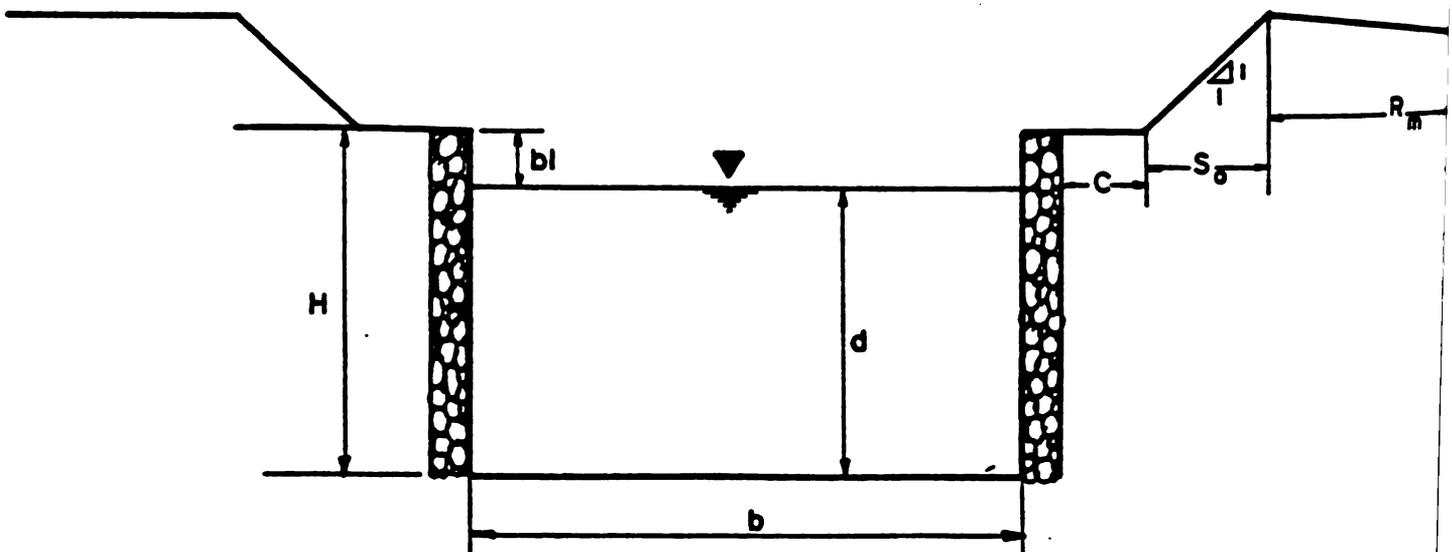
**SECCION ORIGINAL DEL CANAL CS-10
ESTACIONAMIENTO 0+525**

Figura 3a



**SECCION ORIGINAL DEL CANAL CS-10-1
ESTACIONAMIENTO 0+750**

Figura 3b.



**SECCION PROPUESTA PARA LOS CANALES
CS-10 y CS10-1**

Figura 4

ANEXO 3

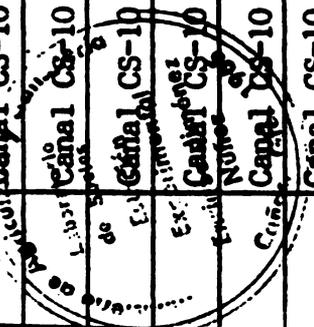
**ANALISIS TEXTURAL DEL MATERIAL QUE CONSTITUYE LOS
TALUDES Y EL FONDO DE LOS CANALES CS-10 Y CS-10-1**

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS E.E.E.J.N.

SEÑOR: ING. HUMBERTO PIZARRO FECHA: 25 -9- 92 REP: _____

NOS PERMITAMOS ENVIARLE LOS RESULTADOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO, REALIZADO EN SUS MUESTRAS.

		METODO HIDROMETRICO					TEXTURA METODO U.D.D.A.			
NO. LAB.	NO. CAMPO.	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	TEXTURA	M.O.	IDENTIFICACION			
694	Sección 2	21.60	19.20	59.20	A		Canal CS-10-1 M.D.			
695	Sección 2	21.60	23.20	55.20	A		Canal CS-10-1 M.I.			
696	Sección 3	27.60	29.20	43.20	A		Canal CS-10-1 M.D.			
697	Sección 3	17.60	31.20	51.20	A		Canal CS-10-1 M.I.			
698	Sección 1	17.60	35.20	47.20	A		Canal CS-10 M.D.			
699	1	19.60	33.20	47.20	A		Canal CS-10 M.I.			
700	Sección 2	19.60	31.20	49.20	A		Canal CS-10 M.D.			
701	2	15.60	23.20	61.20	A		Canal CS-10 M.I.			
702	Sección 3	15.60	23.20	61.20	A		Canal CS-10 M.D.			
703	3	15.60	25.20	59.20	A		Canal CS-10 M.I.			
704	Sección 4	17.60	31.20	51.20	A		Canal CS-10 M.D.			
705	4	21.60	31.20	47.20	A		Canal CS-10 M.I.			
706	Sección 5	19.60	21.20	59.20	A		Canal CS-10 M.D.			
707	5	39.60	31.20	29.20	F A		Canal CS10-M.I.			
		30.60	37.20	93.20	F A		Canal CS-10 M.D.			



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS E.E.E.J.N.

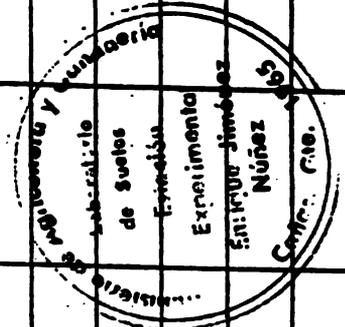
SEÑOR: ING. HUMBERTO PIZARRO FECHA: 25-9-92 REP: _____

NOS PERMITAMOS ENVIARLE LOS RESULTADOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO, REALIZADO EN SUS MUESTRAS.

METODO HIDROMETRICO

TEXTURA METODO U.D.D.A.

NO. LAB.	NO. CAMPO.	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	TEXTURA	M.O.	IDENTIFICACION
710 - 92	Sección 7	25.60	45.20	29.20	F A		Canal CS 10- M.D.
711	7	25.60	39.20	35.20	F A		Canal CS 10- M.I.
712	Sección 8	35.60	39.20	29.20	F A		Canal CS 10- M.D.
713	8	27.60	31.20	41.20	A		Canal CS 10- M.I.
714	Sección 9	31.60	29.20	39.20	F A		Canal CS 10- M.D.
715	9	31.60	29.20	39.20	F A		Canal CS 10- M.I.
716	Sección 10	25.60	37.20	37.20	K A		Canal CS 10- M.D.
717	10	23.60	35.20	41.20	A		Canal CS 10- M.I.



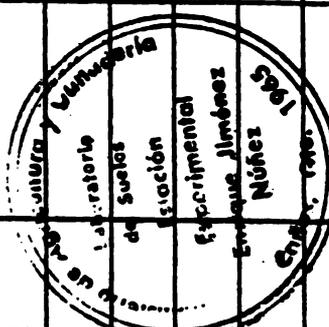
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS E.E.E.J.H.

SEÑOR: ING. HUMBERTO PIZARRO FECHA: 13-10-92 REP: _____

NOS PERMITAMOS ENVIARLE LOS RESULTADOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO, REALIZADO EN SUS MUESTRAS.

METODO HIDROMETRICO TEXTURA METODO U.D.D.A.

NO. LAB.	NO. CAMPO.	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	TEXTURA	M.O.	IDENTIFICACION
718- 92		30	27.80	42.20	A		Sec. 11 Canal Cs-10 M.D.
719		22	31.80	46.20	A		" " M.I.
720		22	35.80	42.20	A		Sec. 12 Canal CS-10 M.D.
721		24	27.80	48.20	A		" " M.I.
722		22	13.80	64.20	A		Sec. 13 Canal CS-10 M.D.
723		24	15.80	60.20	A		" " M.I.
724		47.60	30.20	22.20	F		Sec.2 Canal Cs-10-1-Fondo
725		24	19.80	56.20	A		Sec.3 Canal Cs-10IFondo
726		41.60	34.20	24.20	F		Sec.4 Canal CS10-1 Fondo
727		43.60	36.20	20.20	F		" " N.D.
728		55.60	28.20	16.20	Fa		" " N.I
729		24	19.80	56.20	A		Sec. 5 Canal CS 10-1 Fondo
730		26	19.80	54.20	A		" " M.D.
731		24	17.80	58.20	A		" " M.I
732		50	27.80	22.20	FaA		Sec. 6 Canal CS 10-1 M.D.



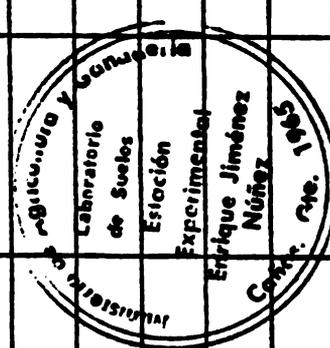
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS E.E.E.J.N.

SEÑOR: ING. HUMBERTO PIZARRO FECHA: 13-10-92 REP: _____

NOS PERMITAMOS ENVIARLE LOS RESULTADOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO, REALIZADO EN SUS MUESTRAS.

METODO HIDROMETRICO TEXTURA METODO U.D.D.A.

NO. LAB.	NO. CAMPO.	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	TEXTURA	M.O.	IDENTIFICACION
734-92		47.60	32.20	20.20	F		Sec. 6 Canal Cs-10-1 Fondo
735		27.60	8.20	64.20	A		Sec. 6 Canal CS-10-1 M.D.
736		25.60	24.20	50.20	A		" " " M.I.
737		23.60	10.20	66.20	A		" " " Fondo
738		27.60	8.20	64.20	A		Sec. 8 Canal Cs-10-1 M.D.
739		23.60	10.20	66.20	A		" " " M.I.
740		21.60	24.20	54.20	A		" " " Fondo
741		23.60	12.20	64.20	A		Sec. 9 Canal CS 10-1 M.D.
742		21.60	18.20	60.20	A		" " " M.I.
743		21.60	8.20	70.20	A		" " " Fondo
744		21.60	20.20	58.20	A		Sec. 10 Canal 10-1 M.D.
745		19.60	20.20	60.20	A		" " " M.I.
746		67.60	18.20	14.20	Fa		" " " Fondo
747		23.60	22.20	54.20	A		Sec. 10 Canal Cs 10-1 M.D.
748		19.60	22.20	58.20	A		" " " M.I.
749		17.60	20.20	62.20	A		" " " Fondo



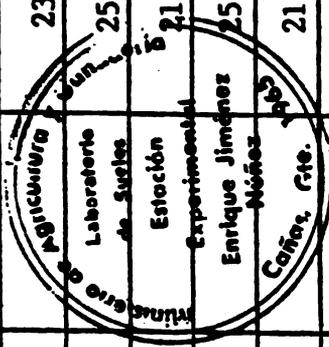
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS E.E.E.J.H.

SEÑOR: ING. HUMBERTO PIZARRO FECHA: 13-10-92 REP: _____

NOS PERMITAMOS ENVIARLE LOS RESULTADOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO, REALIZADO EN SUS MUESTRAS.

METODO HIDROMETRICO TEXTURA METODO U.D.D.A.

NO. LAB.	NO. CAMPO.	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	TEXTURA	M.O.	IDENTIFICACION
750		25.60	16.20	58.20	A		Sec. 12 Canal 10-1 M.D.
751		19.60	14.20	66.20	A		" " " M.I.
752		21.60	10.20	68.20	A		" " " Fondo
753		23.60	20.20	56.20	A		Sec. 13 Canal Cs-101 M.D.
754		25.60	28.20	46.20	A		" " " M.I.
755		21.60	18.20	60.20	A		" " " Fondo
756		25.60	14.20	60.20	A		Sec. 14 Canal Cs10-1 M.D.
757		21.60	12.20	66.20	A		" " " M.I.
758		25.60	4.20	70.20	A		" " " Fondo
759		21.60	30.20	48.20	A		Sec. 15 Canal Cs-10-1 M.D.
760		21.60	36.20	42.20	A		" " " M.I.
761		23.60	16.20	60.20	A		" " " Fondo



ANEXO 4

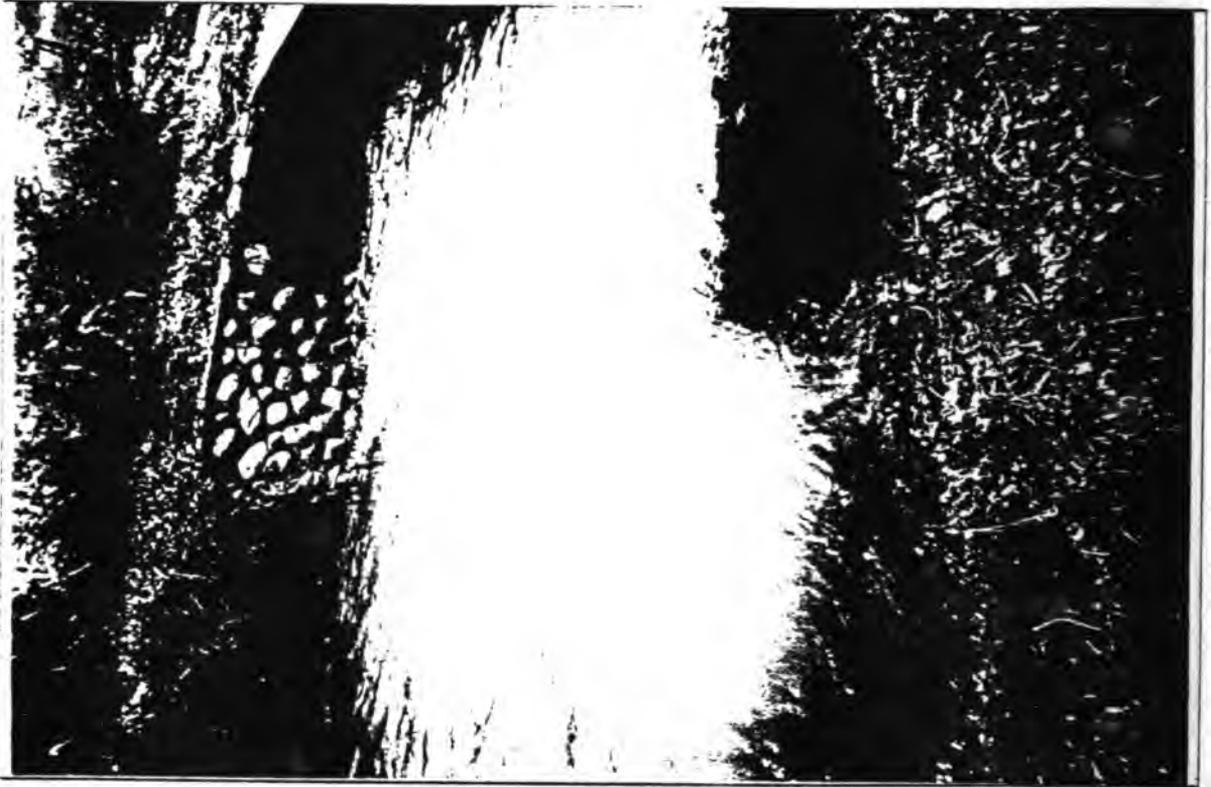
**FOTOGRAFIAS DE LA SITUACION ANTES Y DESPUES DE LA
REHABILITACION DEL CANAL CS-10-1**



SALIDA DEL PASO 0 + 840. Las obras de arte en los sistemas de riego facilitan la comunicación. La reducción de la sección aumenta la velocidad de salida del flujo que lo hace más erosivo. El zarpeado y el enrocado protegen al talud de la erosión.



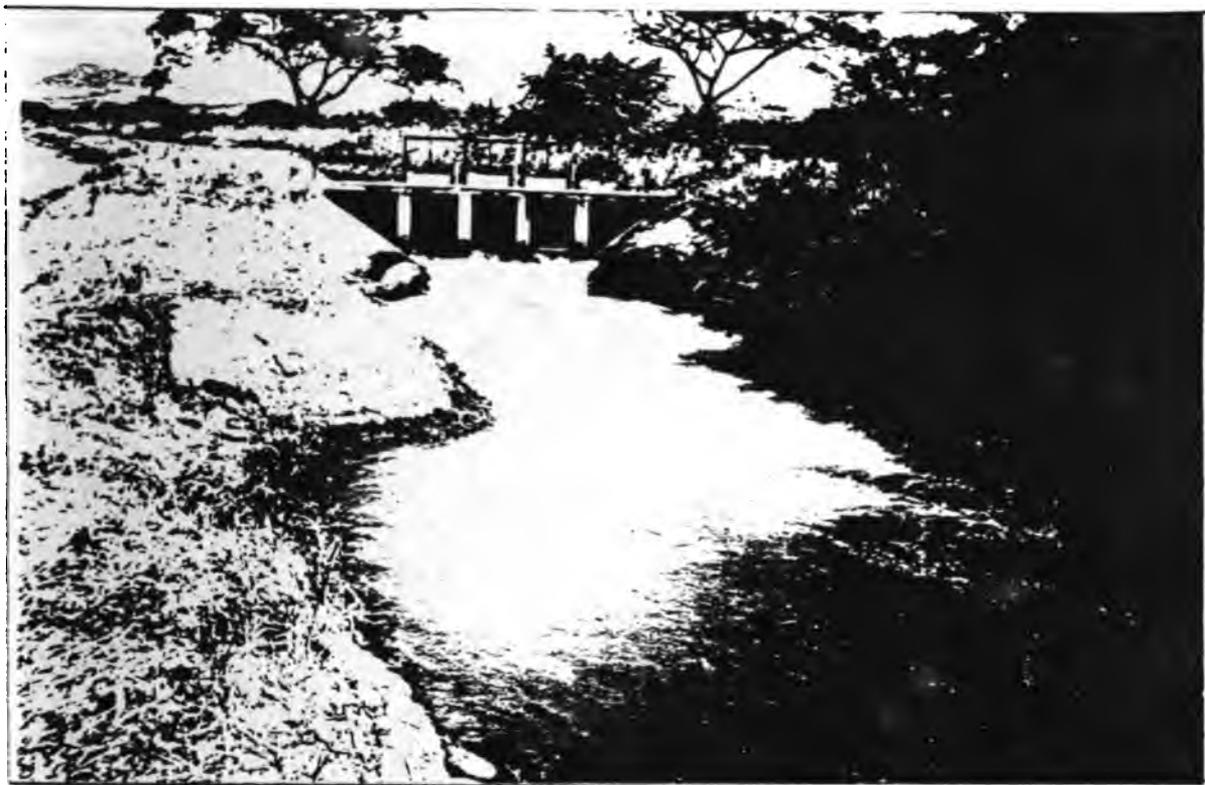
SALIDA DE LA CAIDA 0 + 880. Aguas abajo de los cambios de pendiente. La energía no disipada erosiona las taludes del canal. La turbulencia es una manifestación de la transformación de energía.



ENTRADA PASO 1 + 080. La contracción reduce la sección y aumenta la velocidad que torna en erosivo al flujo. El zampeado protege al talud de la erosión. Para reducir los riesgos de erosión el cambio de sección debe ser progresivo mediante una transición hidráulicamente diseñada.



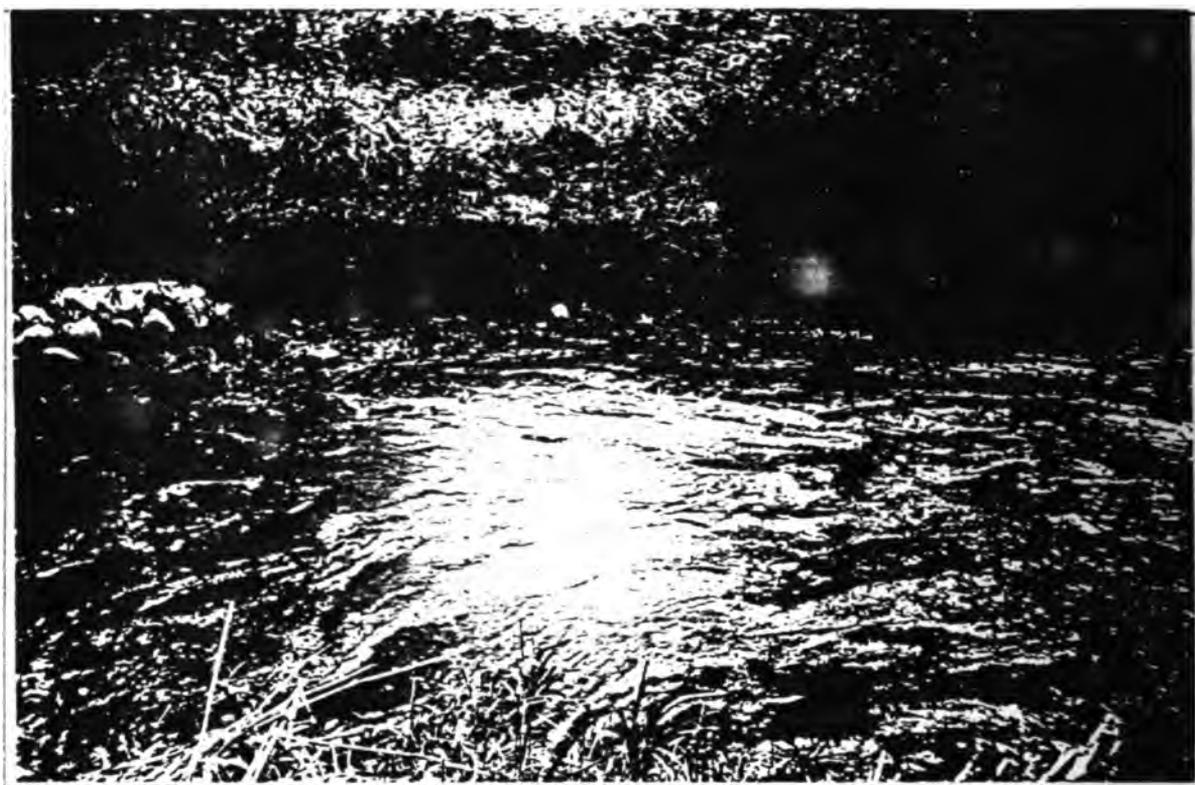
SALIDA PASO 1 + 080. Si la energía no se ha disipado totalmente ocurre erosión de los taludes. Para reducirla hay que prolongar el zampeado.



SALIDA REPRESA 1 + 300. Vista de aguas abajo de una presa de tres compuertas cuyo cierre levanta el nivel del agua aguas arriba para facilitar la captación. La energía residual erosiona los taludes del canal para evitarlo hay que prolongar el zampeado o el enrocado.



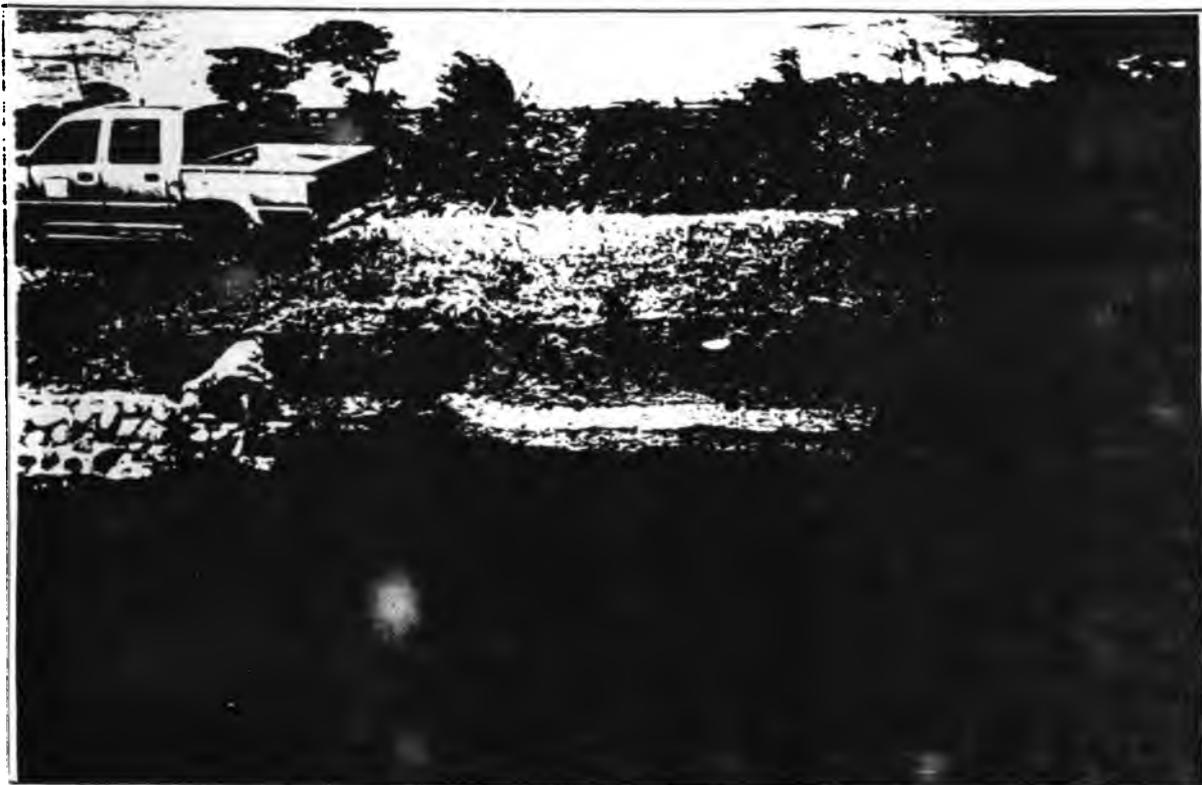
SALIDA REPRESA 1 + 475. La energía residual erosiona los taludes del canal aumentando la sección transversal modificando las condiciones hidráulicas. La inclusión de dados de concreto ayudaría a la disipación.



ENTRADA PASO 1 + 790. El exceso de energía produce erosión del material en tierra que forma la sección del canal para evitarlo hay que cubrirlo con una capa protectora: Zampeado o piedra suelta.



SALIDA PASO 1 + 790. La permanencia de la vegetación protege los taludes contra la erosión.



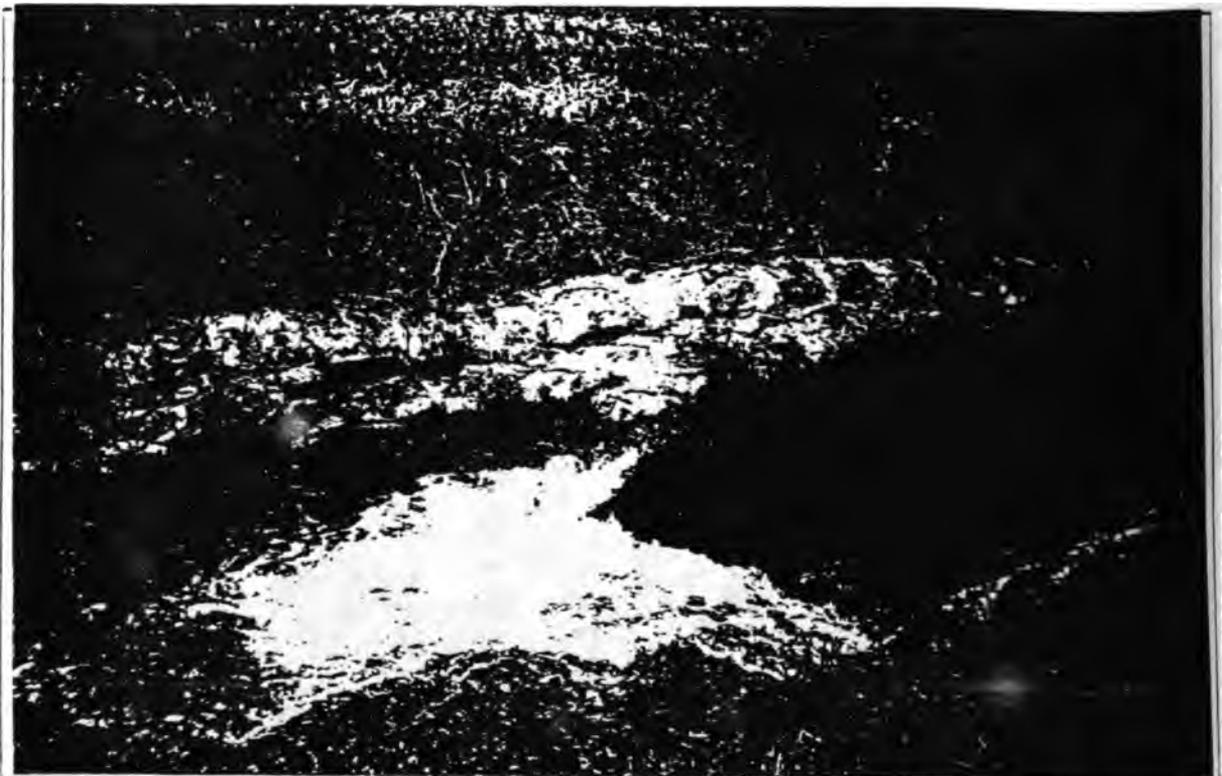
ENTRADA PASO 2 + 420. El aumento de la velocidad incrementa el poder erosivo del flujo. La erosión se inicia en los puntos de cambio de material.



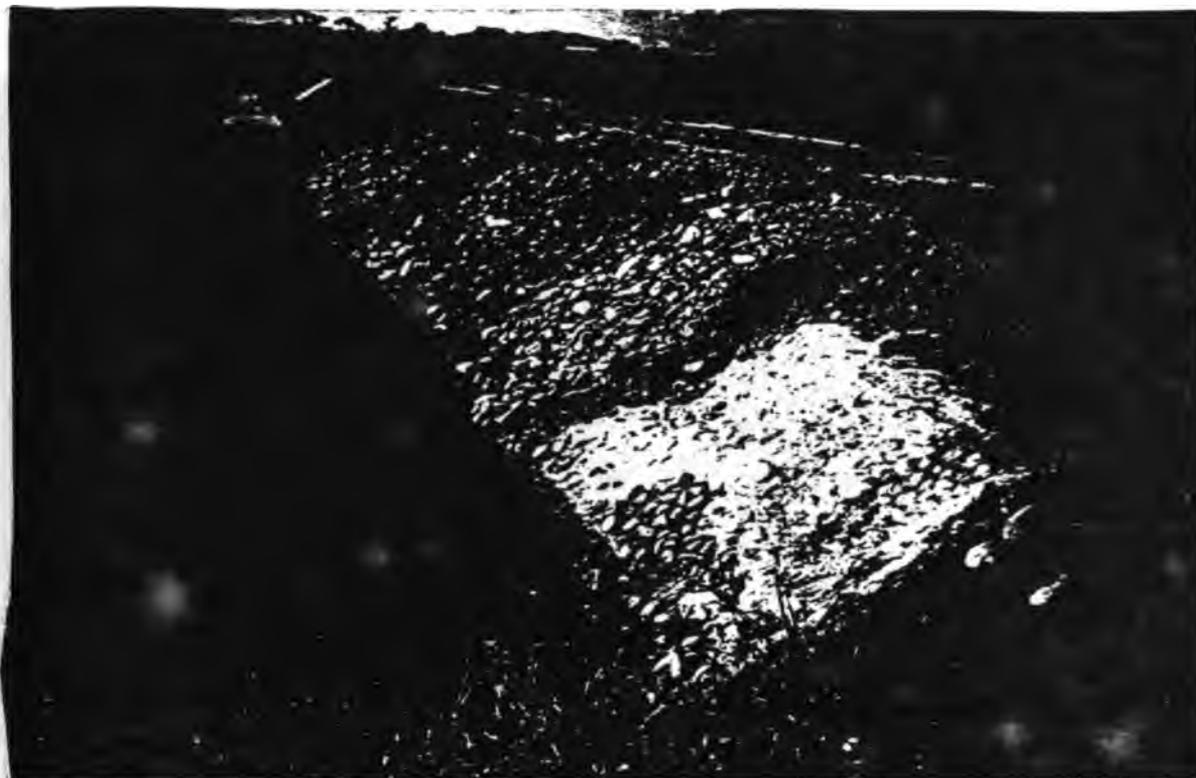
SALIDA CAIDA 4 + 300. El zarpeado debe de prolongarse hasta el punto en que la energía ha sido totalmente disipada.



SALIDA CAIDA 4 + 300. Algunos metros aguas abajo de la cuenca disipadora la sección del canal, la vegetación y el flujo encuentran su equilibrio y el canal se estabiliza lo que se muestra en esta foto.



CAIDA CONSTRUIDA CON SACOS RELLENOS DE MEZCLA. Para evitar la erosión de los taludes del canal debido a un exceso de energía hay que proteger las paredes, de acuerdo con los medios que se dispone.



SALIDA PASO 0 + 840 REPARADA. Para evitar la erosión de los Taludes, se ha agregado una longitud de Zampeado y luego se ha depositado piedras que servirán de capa protectora de la tierra. La idea es colocar un material más resistente a la erosión.



SALIDA CAIDA 0 + 880 REPARADA. Una vista más cerca del material empleado para cubrir la tierra arcillosa natural para protegerla contra la erosión.



ENTRADA CAIDA 1 + 000 REPARADA. Tramo parcialmente rehabilitado. La falta de materiales y tiempo obligan a realizar reparaciones parciales para proteger el canal.



SALIDA PASO 1 + 080 REPARADO. La prolongación del Zampeado y el depósito de material de río empleados como medios de protección de Taludes contra la erosión.



SALIDA REPRESA 1 + 475 REPARADA. Prolongación de Zampeado y depósito de una capa de piedra de río para proteger la tierra contra la erosión.



SALIDA REPRESA 1 + 775 . REPARADA. El encauzamiento del canal con Zampeado y piedra suelta de río para proteger las paredes del canal contra la erosión.



SALIDA PASO 1 + 790. REPARADA. Una vista de detalle de la capa de piedra de río para encauzar el canal y darle la protección contra la erosión del flujo.



ENTRADA PASO 1 + 790. Encauzamiento del canal mediante Zampeado y depósito de piedras de río. Una forma con fines de protección contra la erosión.



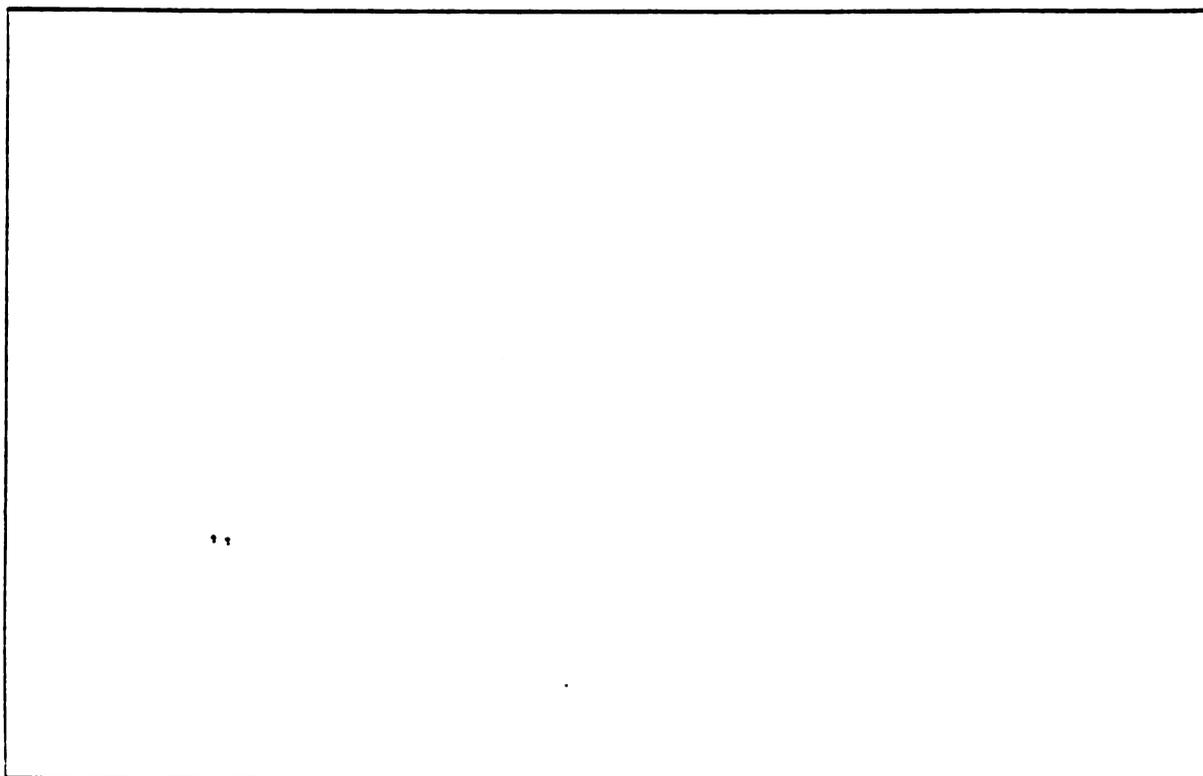
SALIDA PASO 2 + 420. Protección de los taludes con Zampeado y depósito de material de río.



SALIDA CAIDA 2 + 580. Para lograr la estabilidad de la sección del canal, las taludes deben protegerse, más 100 metros aguas abajo de la cuenca disipadora. El depósito de las piedras de río es una buena medida.



CAIDA DE SACOS REPELLADA. 4 + 666. El encauzamiento del canal equilibrando la fuerza erosiva del flujo con la resistencia del material de los taludes le da estabilidad al canal.



**ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO DE RIEGO ARENAL**

Por

R.Humberto Pizarro

**ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO DE RIEGO ARENAL**

TABLA DE CONTENIDO

	PAGINA
TABLA DE CONTENIDO.....	i
LISTA DE CUADROS.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE PLANOS.....	vii
INTRODUCCION.....	1
EL GRUPO DE TRABAJO.....	2
METODOLOGIA UTILIZADA PARA EL ESTUDIO.....	2
Pozos Domésticos.....	3
Los pozos de observación.....	3
La conductividad hidráulica.....	7
Análisis textural de las capas que conforman el perfil de suelo.....	15
La calidad del agua del subsuelo.....	18
Cálculo del espaciamiento de drenes.....	21
RESULTADOS.....	26
INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	31
Análisis de los isobastas en el sector de San Luis.....	31
Análisis de la isohypsas en el Sector de San Luis.....	32
El espaciamiento de drenes.....	32
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES.....	34
BIBLIOGRAFIA.....	35
ANEXOS	
I Cuadros.....	36
II Figuras.....	60
III Planos.....	95

LISTA DE CUADROS

No.	CONTENIDO	PAGINA
1	Pozos domésticos para observar el manto freático en San Luis.....	36
2	Pozos domésticos para observar el manto freático en Paso Hondo y la estación experimental Enrique Jiménez Núñez.....	37
3	Relación de pozos domésticos del área de la segunda etapa.....	38
4a	Registro de pozos de observación del nivel freático. Sector de San Luis.....	40
4b	Profundidad del nivel freático con respecto al suelo. Sector de San Luis.....	41
4c	Elevación del nivel freático con respecto al nivel del mar Sector de San Luis.....	42
5a	Registro de pozos de observación del nivel freático. Sector Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez.....	43
5b	Profundidad del nivel freático con respecto al suelo. Sector. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez.....	43
5c	Elevación del nivel freático con respecto al nivel del mar. Sector Enrique Jiménez Núñez.....	44
6a	Registro de pozos de observación del nivel freático. Sector Taboga.....	45
6b	Profundidad del nivel freático con respecto al suelo. Sector Taboga.....	46
6c	Elevación del nivel freático con respecto al nivel del mar. Sector Taboga.....	47
7a	Registro de pozos de observación del nivel freático. Sector CO-1.....	48
7b	Profundidad del nivel freático con respecto al suelo. Sector CO-1.....	49
7c	Elevación del nivel freático con respecto al nivel del mar. Sector CO-1.....	50

8a	Registro de pozos de observación del nivel freático. Sector Paso Hondo.....	51
9	Localización de escalas y piezómetros en el sector de San Luis.....	52
10a	Conductividad eléctrica de pozos domésticos de San Luis.....	53
10b	Conductividad eléctrica de pozos domésticos de Paso Hondo.....	54
11	Conductividad eléctrica de pozos de observación del manto freático. Sector de San Luis.....	55
12	Conductividad eléctrica de pozos de observación del manto freático. Sector E.E.E.J.N.....	56
13	Conductividad eléctrica de pozos de observación del manto freático. Sector Taboga.....	57
14	Conductividad eléctrica de pozos de observación del manto freático. Sector CO-1.....	59

LISTA DE FIGURAS

1	Esquema de un pozo de observación.....	4
2	Esquema del equipo y procedimiento para determinar la conductividad hidráulica.....	9
3	Nomograma para calcular el valor de C de la conductividad hidráulica según el agujero de barreno.....	12
4	Nomograma para calcular el valor de C de la conductividad hidráulica según el agujero de Barreno.....	13
5	Esquema del equipo y procedimiento para determinar la conductividad hidráulica (Método Inverso).	15
6	Triángulo de clases texturales.....	17
7	Gráfico para la clasificación del agua.....	19
8	Esquema de conductos para drenaje.....	20
9a	Esquema para la aplicación de la fórmula de Houghoudt.....	24
9b	Esquema para la aplicación de la fórmula de Glover-Dumm.....	24
10a	Variación del manto freático: Pozo de observación en parcela Eduardo Bastos.....	60
10b	Variación del manto freático: Pozo de observación en la parcela Luis Rodríguez.....	61
10c	Variación del manto freático: Pozo de observación en parcela Simón González.....	62
10d	Variación del manto freático: Pozo de observación en parcela Severo Villarreal.....	63
10e	Variación del manto freático: Pozo de observación en parcela Marco T. Ajún.....	64
10f	Variación del manto freático: Pozo de observación en Parcela Petronila Rodríguez.....	65
10g	Variación del manto freático: Pozo de observación en parcela Carlos Bravo.....	66

10h	Variación del manto freático: Pozo de observación en parcela TACSAN-NILO.....	67
10i	Variación del manto freático: Pozo de observación Ismael Pereira.....	68
11a	Variación del manto freático: Pozo de observación Taboga 7.....	69
11b	Variación del manto freático: Pozo de observación Taboga 14.....	70
11c	Variación del manto freático: Pozo de observación Taboga 15.....	71
11d	Variación del manto freático: Pozo de observación Taboga 22.....	72
11e	Variación del manto freático: Pozo de observación Taboga 35.....	73
11f	Variación del manto freático: Pozo de observación Taboga 45.....	74
11g	Variación del manto freático: Pozo de observación Taboga 51.....	75
12a	Variación del manto freático: Pozo de observación en EEEJN MANGOS.....	76
12b	Variación del manto freático: Pozo de observación en EEEJN ASEGEN.....	77
13a	Variación del manto freático: Pozo de observación en CO-1 F-9.....	78
13b	Variación del manto freático: Pozo de observación en CO-1 F-4.....	79
14a	Variación del manto freático: Pozo de observación en R. Campos.....	80
14b	Variación del manto freático: Pozo de observación en Raúl Barahona.....	81
14c	Variación del manto freático: Pozo de observación en G. Salguero.....	82
14d	Variación del manto freático: Pozo de observación en F. López.....	83

14e	Variación del manto freático: Pozo de observación en E. Bastos.....	84
14f	Variación del manto freático: Pozo de observación en P. Rodríguez.....	85
15a	Variación del manto freático: Pozo de observación en J. Heisson	86
15b	Variación del manto freático: Pozo de observación en Escuela Paso Hondo.....	87
15c	Variación del manto freático: Pozo de observación en A. Briceño.....	88
15d	Variación del manto freático: Pozo de observación en J. Morera.....	89
15e	Variación del manto freático: Pozo de observación en J. Cambronero.....	90
15f	Variación del manto freático: Pozo de observación en M. Villegas.....	91
16a	Variación del manto freático: Pozo de observación EEEJN Maternidad.....	92
16b	Variación del manto freático: Pozo de observación EEEJN Investigación.....	93
17a	Variación del manto freático: Pozo de observación Taboga, San Juan.....	94

LISTA DE PLANOS

No.	CONTENIDO
1	Localización de los pozos domésticos y los pozos de observación para el estudio del manto freático en: San Luis, EEEJN, Ampliación Paso Hondo (Taboga) y Paso Hondo.
2	Localización de los pozos domésticos y los pozos de observación del manto freático. Área de la segunda etapa.
3	Localización pozos de observación del manto freático, área San Luis.
4	Localización de pozos de observación del manto freático, área regada por el canal CO-1.
5	Curvas de isoconductividad hidráulica, área San Luis
6	Distribución espacial de la conductividad eléctrica, área San Luis (diciembre 1992).
7	Distribución espacial de la conductividad eléctrica, área San Luis (marzo 1993).
8	Isopropundidad del manto freático (isobatas), área San Luis (octubre 1992)
9	Isopropundidad del manto freático (isobatas), área San Luis (febrero 1993).]
10	Isopropundidad del manto freático (isobatas), área San Luis (marzo 1993).
11	Isopropundidad del manto freático (isobatas), área San Luis (mayo 1993).
12	Elevación del manto freático (Isohypsas)
13	Elevación del manto freático (Isohypsas), área San Luis (febrero 1993)
14	Elevación del manto freático (Isohypsas), área San Luis (marzo 1993)
15	Elevación del manto freático (Isohypsas), área San Luis (mayo 1993)

I. INTRODUCCION

Debido a que el agua aplicada mediante el riego no es consumida totalmente por el cultivo es necesario evacuar el exceso de aguas para evitar que la percolación haga subir el manto freático. Igualmente durante la época húmeda, las precipitaciones de alta intensidad requiere una capacidad de drenaje conveniente para evitar daños a los cultivos que son sensibles a condiciones de saturación para períodos largos (48 o 72 horas), tales como las hortalizas, la caña de azúcar etc. El arroz crece bien en condiciones de inundación. El drenaje es el complemento del riego de tal manera que se habla de sistema de riego y drenaje o irrinage para referirse a la actividad conjunta de aplicar y de retirar el agua. El área agrícola del Distrito de Riego Arenal tiene un clima subtropical que recibe una precipitación anual promedio que varía entre 1500 y 1700 mm. La época húmeda empieza en mayo y termina en octubre, se observa dos períodos húmedos y dos períodos secos. Mayo y junio de una parte y agosto-septiembre y octubre de la otra, corresponden a los períodos húmedos. Julio por un lado y noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril son los períodos secos. En el segundo período húmedo se produce el 50% de la precipitación total. Los cultivos predominantes de la agricultura de regadío son: el arroz, la caña de azúcar y los pastos. La caña de azúcar debería regarse por surcos, sin embargo, los tres se riegan por inundación, con caudales elevados que producen fuerte escorrentía superficial y también altas percolaciones que en ausencia de una planificada red de drenaje, contribuye a elevar el manto freático.

El servicio del riego en el Distrito Arenal se paga por la superficie que el usuario tiene en agricultura de regadío, esta modalidad le permite recibir todo el volumen de agua que el desee y no valorarlo como el principal insumo de la producción agrícola, por esta misma razón la supervisión del riego es mínima, esta situación esta contribuyendo a hacer subir el manto freático de manera acelerada, lo que puede limitar las tierras a los cultivos tolerantes a la saturación como el arroz. Ante tal situación es conveniente para armonizar la agricultura, zonificar el uso de la tierra para que hayan áreas arroceras, áreas cañeras y áreas de otros cultivos, a fin de evitar interferencias entre los cultivos.

Con el fin de prevenir los efectos negativos de la presencia en exceso de humedad y de salinidad, en el departamento de Operación y Mantenimiento del DRA, se iniciaron los estudios de necesidades de drenaje del área de riego habiéndose perforado desde noviembre de 1992 a junio de 1993, 149 pozos de observación a través de los cuales se podrá analizar el comportamiento del manto freático superficial (En los dos primeros metros de profundidad, donde el exceso de humedad afecta el crecimiento de las plantas). Estos pozos están localizadas en: 26 en San Luis, 9 en la EEEJN, 54 en

Ampliación Paso Hondo, 44 en Paso Hondo y 16 en la Pacífica-DAISA (área que será regada por el canal C01).

También se estudia las fluctuaciones del manto freático en 30 pozos domésticos (11 en San Luis y 19 en Paso Hondo).

En el área de la segunda etapa se ha ubicado 50 pozos domésticos que pueden servir como infraestructura para el estudio del manto freático.

Con este trabajo se inicia la labor permanente sobre los estudios de necesidades de drenaje que debe orientarse a conjugar el drenaje subterráneo y el drenaje superficial con el propósito de crear las condiciones ambientales favorables para la vigencia de una agricultura de regadío diversificada y sostenible.

EL GRUPO DE TRABAJO

Con el apoyo logístico del Departamento de Operación y Mantenimiento esta labor ha sido emprendida por el siguiente personal:

R. Humberto Pizarro C.	Consultor en Riego y Drenaje Convenio IICA-SENARA
Roberto Murillo V.	Ingeniero del Departamento de Operación y Mantenimiento
Edgar Campos Ch.	Tesionario de la UCR
Gerardo Villarreal	Tesionario de la UCR
Marvin López	Chofer-Técnico del Depto. Operación y Mantenimiento
Eladio Ríos	Chofer-Técnico del Depto. Operación y Mantenimiento

II. METODOLOGIA UTILIZADA PARA EL ESTUDIO

En el área del Distrito de Riego Arenal las fuentes de contribución al manto freático son:

1. Las precipitaciones directas sobre el área cuando la infiltración lo permite.
2. La infiltración (percolación) del agua de riego.
3. El flujo subterráneo de las partes altas de la cuenca.
4. Las filtraciones del agua de los cauces naturales de los canales y drenes cuando estos alimentan el acuífero.

En este estudio se ha concentrado los esfuerzos en el seguimiento espacio-temporal del nivel del manto freático, para lo cual se ha utilizado dos medios:

1. Los pozos domésticos (perforados a gran profundidad) y
2. Los pozos de observación del nivel freático.

Los pozos domésticos:

Las perforaciones de más de 1 m. de diámetro que los habitantes del medio rural realizan con el fin de obtener agua para satisfacer sus necesidades domésticas son una fuente de información de la posición del manto freático. Estos son muy abundantes en el área del Distrito. El propósito de estos pozos es obtener diariamente un volumen importante de agua por lo que la profundidad es grande. El espesor de la napa es de varios metros.

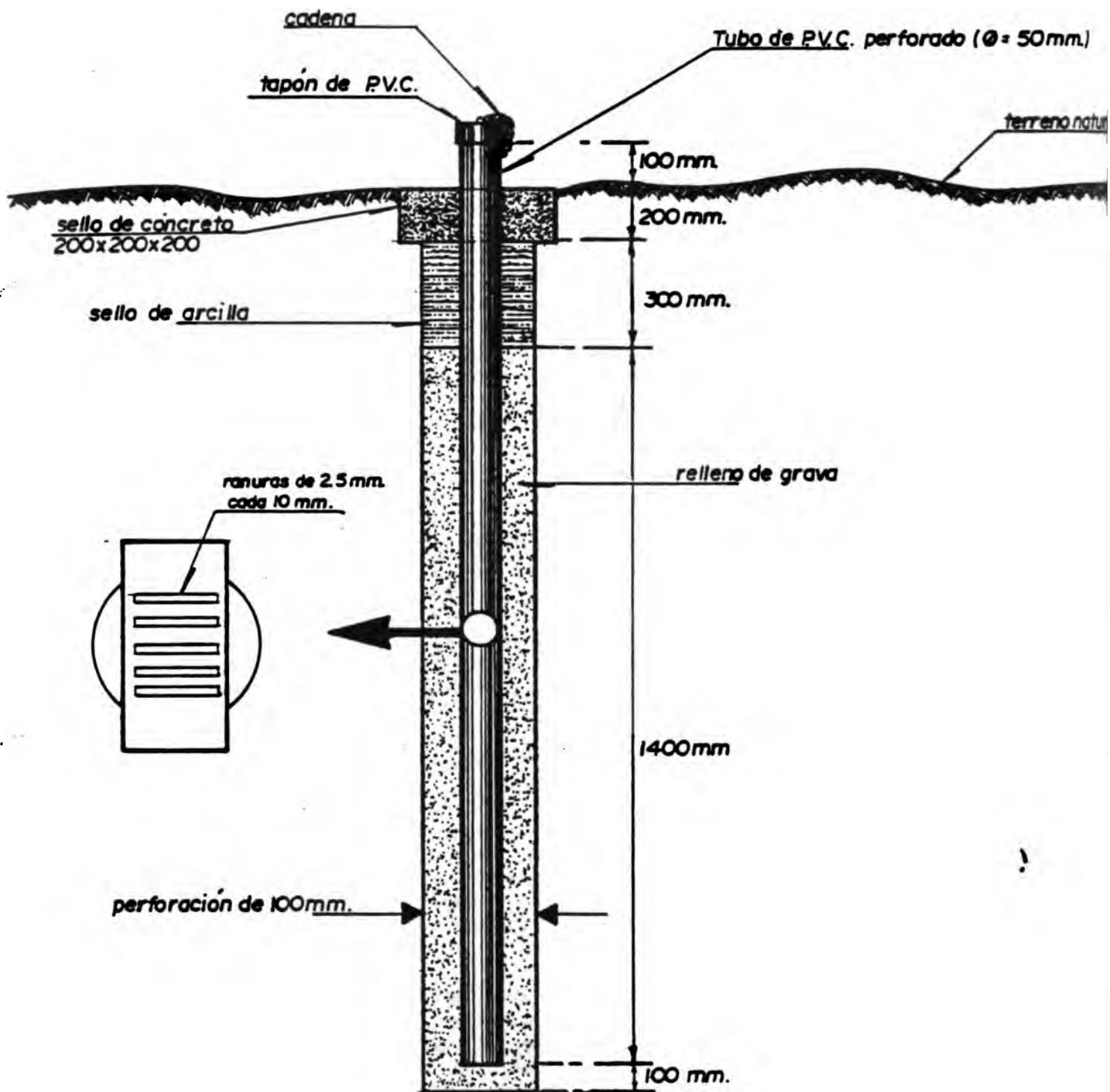
Los pozos de observación: (Figura 1)

Cuando se requiere una mayor precisión en la determinación del nivel de la napa freática se hacen perforaciones de 0.05 a 0.10 m. de diámetro hasta una profundidad de 2 m. (zona que interesa a los cultivos y donde se instalarían los drenes si fuese necesario). Después de una etapa de transición en ellos se mide la posición del manto freático que previa nivelación con respecto al nivel del mar nos permitirán trazar los planos de isohypsas y de isobatas que ayudarán a decidir sobre la necesidad o no de la instalación de una red de drenes subterráneos.

Por medio de los pozos de observación obtenemos:

1. Información del perfil del suelo (Espesor y textura de las diferentes capas que lo componen, lo cual permite apreciar como es afectado el flujo de agua. La profundidad del estrato impermeable por la posición de las capas de arcilla. La presencia de problemas de drenaje si se observan gleyzaciones u oxidaciones y reducciones.
2. La capacidad de conducción del agua del perfil del suelo saturado mediante la determinación de la conductividad hidráulica "in situ", empleando el pozo de observación. Si el nivel freático se encuentra cercano a la superficie del suelo se usa el método directo (abatimiento y velocidad de recuperación del manto freático si éste está muy bajo se empleará el método inverso (Inyección de agua en el pozo y abatimiento del nivel).

ESQUEMA DE UN POZO DE OBSERVACION



3. La evaluación de la calidad del agua subterránea mediante la determinación de la conductividad eléctrica (medida indirecta de la cantidad total de sólidos solubles en el agua).
4. Medición de la posición del nivel del manto freático para determinar la dirección del movimiento del flujo subterráneo (El flujo es perpendicular a las líneas equipotenciales dadas por las isohypsas) y la profundidad del manto freático con respecto al nivel del suelo lo cual interesa a la agricultura de regadío por la profundidad de las raíces que pudiesen ser afectadas por la presencia del agua lo que limitaría la productividad de los cultivos a menos que se instale una red de drenaje subterráneo que evite el ascenso del nivel del agua.

La ubicación de los pozos de observación:

Además de la información que se requiere obtener de los pozos de observación lo cual le debe otorgar cierta representatividad hay que cuidar su accesibilidad para facilitar las lecturas que regularmente deben hacerse (una o dos veces al mes).

Construcción de los pozos:

-En el sitio designado se perfora un hueco de 0.05 m. de diámetro con un tornillo (barreno tipo holandés), del mismo diámetro.

-A medida que se profundiza se reconstituye el perfil del suelo colocando las muestras extraídas en el orden de la excavación.

-Alcanzado el punto de máxima profundidad sea por la presencia de una capa de material impermeable o porque el barreno llegó a su mayor penetración, se determina las longitudes de los diferentes capas de suelo. Estas se diferencian en primera instancia por el color y la textura (la profundidad total del pozo varía de uno a dos metros)_.

-Con un barreno apropiado, se ensancha el hueco a 0.1 m. de diámetro y se profundiza a 2.00 m si antes no se ha alcanzado el estrato impermeable.

-A las 24 horas se hace la lectura de la posición del manto freático después que éste se ha estabilizado.

-Se ejecuta la prueba de conductividad hidráulica.

- El fondo del tubo se cubre con una capa de grava fina de 0.10 m de espesor.
- Se coloca en el centro del hueco un tubo de plástico de 0.05 m de diámetro perforado que sobresale 0.10 m por encima de la superficie del suelo.
- Alrededor del tubo se llena con grava fina en toda su longitud, excepto los 0.60 m superiores que son acondicionados con otro material.
- En una altura de 0.30 m se coloca arcilla que se compacta formando un sello.
- En los siguientes 0.20 m se instala un sello de concreto, de esta manera el tubo y el suelo forman un ente hermético evitándose la penetración de la lluvia o del agua de riego.
- En la parte superior del tubo de plástico se coloca un adaptador con rosca que recibe un tapón, con lo cual se protege al tubo del ingreso de agentes extraños.
- Un hueco en el tapón o en el tubo debe asegurar que el nivel del agua en el tubo esté en contacto con la presión atmosférica.
- Limpieza del tubo para lo cual se extrae rápidamente el agua contenida en el tubo y luego el agua filtrará en el tubo.
- Nivelación de un punto de referencia del pozo (parte superior del sello de concreto) con respecto al nivel del mar y determinación de las coordenadas Y y X para su localización geográfica con lo cual puede determinarse la posición espacial de la conductividad hidráulica, las isohypsas y las isobatas.
- Registro de la posición de los niveles freáticos en función del tiempo.
- Cálculo para cada fecha de lectura del nivel freático de la altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) del manto freático y de la profundidad por debajo del suelo.

Identificación de pozos

Cada pozo se ha identificado con un conjunto de símbolos alfanuméricos. La nomenclatura que se ha escogido permite la localización rápida del pozo.

Refiriéndose a:

Subdistrito de Riego: Cañas (CN), Piedras (P), Cabuyo (C), etc.

Zona: Taboga (T), Margen derecha (MD)

Canal: 10.1, 10, 12

Potrero: Liberianos (L), Montano (M)

Número del pozo: 1,2,3,.....43,44, etc.

Ejemplo: un pozo que tiene la siguiente edentificación.

CN-12-1

indica que el pozo 1 se encuentra en:

CN En el Subdistrito Cañas

12 En el área regada por el canal CS-12

Ejemplo 2: CN-MD-10.1-26

Representa al pozo No.26 que se encuentra en el área regada por el canal CS-10.1 en margen derecha en el subdistrito Cañas.

LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

La conductividad hidráulica depende del tipo de suelo y del fluido y representa la constante de proporcionalidad de la ley de Darcy

$$V = Ki$$

Donde:

V= Velocidad del flujo subterráneo, (L/T)

$$V = \frac{Q}{A}$$

i= gradiente hidráulico, (L/L)

$$i = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

K= Conductividad hidráulica, (L/T)

Q = Caudal (L^3/L)

A= Sección transversal (mojada por el flujo), (L^2); el área efectiva es menor que el área del medio poroso, por lo que la velocidad a través de un conducto de la misma área es mayor.

ΔH = Diferencia de carga entre dos puntos ($H_2 - H_1$).

ΔL = Distancia que separa los puntos ($L_2 - L_1$).

La conductividad hidráulica interviene tanto en la determinación de la capacidad de los drenes como en el cálculo del espaciamiento de los drenes. Para la determinación del valor de la conductividad hidráulica se emplearon procedimientos "in-situ" del agujero ya sea el método directo o el inverso según se haya o no encontrado el manto freático en el pozo. En esta forma se evalúa la conductividad hidráulica del perfil del suelo.

El Método Directo:

Estando el nivel del manto freático en su posición de equilibrio, se extrae rápidamente una parte del volumen de agua (abatimiento) y luego se mide la velocidad de recuperación del nivel. Una fórmula experimental que tiene en cuenta las condiciones del manto freático, la geometría del hueco y la intensidad de recuperación del nivel, permite calcular la conductividad hidráulica. El esquema de la figura 2, muestra los elementos que intervienen en la expresión algebraica y cuyo significado es:

D= Profundidad del hueco, en cm

nf= Profundidad del nivel freático por debajo del suelo, en cm.

H= D-nf= Profundidad del hueco, por debajo del nivel del manto freático, en el momento de iniciar la prueba, en cm.

h= Lectura del nivel freático, con respecto a un punto de referencia, en el momento de iniciar la prueba.

$h'(t_1)$ = Lectura del nivel freático con respecto al punto de referencia, después de extraer una parte del agua.

$h'(t_n)$ = Lectura del nivel freático con respecto al punto de referencia, después de n lecturas de recuperación del nivel freático.

$\Delta h = h'(t_1) - h(t_0) = h(t_1) - h(t_0) =$ ascenso del nivel del manto freático, durante el intervalo Δt de tiempo de medida.

La expresión que permite calcular la conductividad hidráulica está dada por:

$$K = C \frac{\Delta h}{\Delta t} \text{-----(1)}$$

Donde

K= Conductividad hidráulica, en m/día.

C= Factor de geometría del pozo y tiene los siguientes valores

a: S=0 El hueco llega hasta el estrato impermeable

$$C = \frac{3600 r^2}{(H + 10 r) (2 - \bar{h}/H) \bar{h}} \quad (2)$$

b: S ≥ ½H

$$C = \frac{4.000}{(H/r + 20) (2 - h/H)} \times r/h \quad (3)$$

$$\bar{h} = \frac{h(t_1) + h(t_2)}{2} \quad (4)$$

Δh = h(t₂) - h(t₁) ascenso del nivel freático durante el tiempo (Δt)

r = radio del hueco

Los elementos de las fórmulas se expresan en cm. y en segundos y la conductividad hidráulica k se expresa en m/día.

Si S < 0.5H se considera que el valor de K está comprendido entre el que corresponde a S = 0 y S > 0.5 H, luego puede emplearse el valor promedio.

Precauciones experimentales para la confiabilidad de los resultados:

El valor de la conductividad hidráulica del terreno se mide por medio de la recuperación del nivel del agua dentro del pozo. En esta forma se puede tomar los datos de la variación del nivel para intervalos de tiempos constantes o viceversa lo que sea más práctico según las circunstancias. En algunos casos puede ser práctico hacer lecturas a 5, 10, 15, 30 segundos, en otros se alargará el intervalo de tiempo 10, 20, 30, 45, 60 segundos. el operador juzgará de la velocidad del ascenso del nivel del agua.

No es recomendable tomar las medidas por largo tiempo puesto que a medida que disminuye el valor de h(t₁) disminuye la velocidad del ascenso del nivel del agua. Se recomienda que la relación Δht/Δt se tome dentro del primer cuarto de recuperación del nivel del agua o sea cuando el 25% de agua extraída haya vuelto a fluir dentro del pozo. Esto significa que las medidas deben tomarse antes que:

$$ht_2 > 0.75 ht_1$$

$$\text{o que } \Delta h < 0.25 ht_1$$

Por ejemplo si $ht_1 = 36$ cm, la lectura se hará hasta que ht_2 mida como máximo 27 cm. o sea que el intervalo de medida es de $\Delta h = 9$ cm., luego podrá hacerse lecturas a los valores de:

$$ht_2 = 34, 32, 30, 28 \text{ cm.}$$

Equipo necesario

El equipo utilizado para la medida de la conductividad hidráulica se muestra en la figura 2 y consta de:

1. Un flotador de peso despreciable fijado en un extremo de una cuerda de plástico.
2. En la otra extremidad de la cuerda se fija un contrapeso.
3. La cuerda se desliza sobre una polea.
4. Un soporte metálico que como se muestra en la figura tiene en un lado una cinta métrica y en el otro una punta para fijarse en el suelo.
5. Durante la prueba el contrapeso se desliza sobre la cinta métrica. El flotador asciende a medida que el nivel del agua fluye hacia el hueco y el contrapeso desciende.

El procedimiento para las lecturas es como sigue:

- A. Coloque el equipo de tal manera que el flotador y la cuerda se fijen en el centro del pozo.
- B. Una vez alcanzado el equilibrio del nivel freático colóquese el flotador sobre la superficie del agua para probar las distancias.
- C. Retírese el flotador del interior del pozo y gírese el soporte de su posición.
- D. Extraíga el agua del pozo hasta una profundidad conveniente, pudiéndose utilizar una bomba mecánica o manual.
- E. Colocar el flotador tan pronto como sea posible sobre el manto freático. El valor obtenido corresponde a ht_1 (primera lectura).

- F. Hágase tantas lecturas como sea posible a intervalos regulares de tiempo. Para tener lecturas dignas de confianza hay que controlar que el flotador durante el período de las lecturas no se pegue a las paredes del pozo.
- G. Todas las lecturas incluyendo la del manto freático y la profundidad del pozo deben ser hechas con referencia al brazo del soporte.

Cálculo de la conductividad hidráulica

Para encontrar el valor de la conductividad hidráulica a partir de los datos obtenidos de las pruebas existen dos procedimientos:

- a. Empleando Nomogramos
- b. Empleando fórmulas

Los nomogramos se han desarrollado para las combinaciones de radios de pozos $r = 0.04$ m y $r = 0.05$ m y $S = 0$ y $S > 0.5 H$ (figura 3 y 4). A partir de los datos de campo obtenidos de la prueba del barreno se calcula Δy y Δt . Del nomograma conociendo

$Y = \bar{h}$ y H se determina C , la aplicación de la expresión 1 nos permite hallar el valor de K .

Las fórmulas se programan en una calculadora manual y facilitan encontrar los valores de la conductividad hidráulica.

Análisis dimensional de las fórmulas:

$\Delta h = L$
 --- [---] tiene dimensiones de velocidad puede ser cm/s, m/s
 $\Delta T \quad T \quad o \quad m/día.$

$C =$ Es adimensional pero contiene las constantes de transformación para expresar K en m/día.

Para el caso de $S = 0$, Ambos el numerador y el denominador de C tienen dimensiones de L^2 .

Para el caso de $S \geq 0.5 H$. El numerador y el denominador de C tienen dimensiones de L/L .

**NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL VALOR DE C DE LA CONDUCTIVIDAD
HIDRAULICA SEGUN EL AGUJERO DE BARRENO.**

$r = 5 \text{ cm}$
 $s = 0$

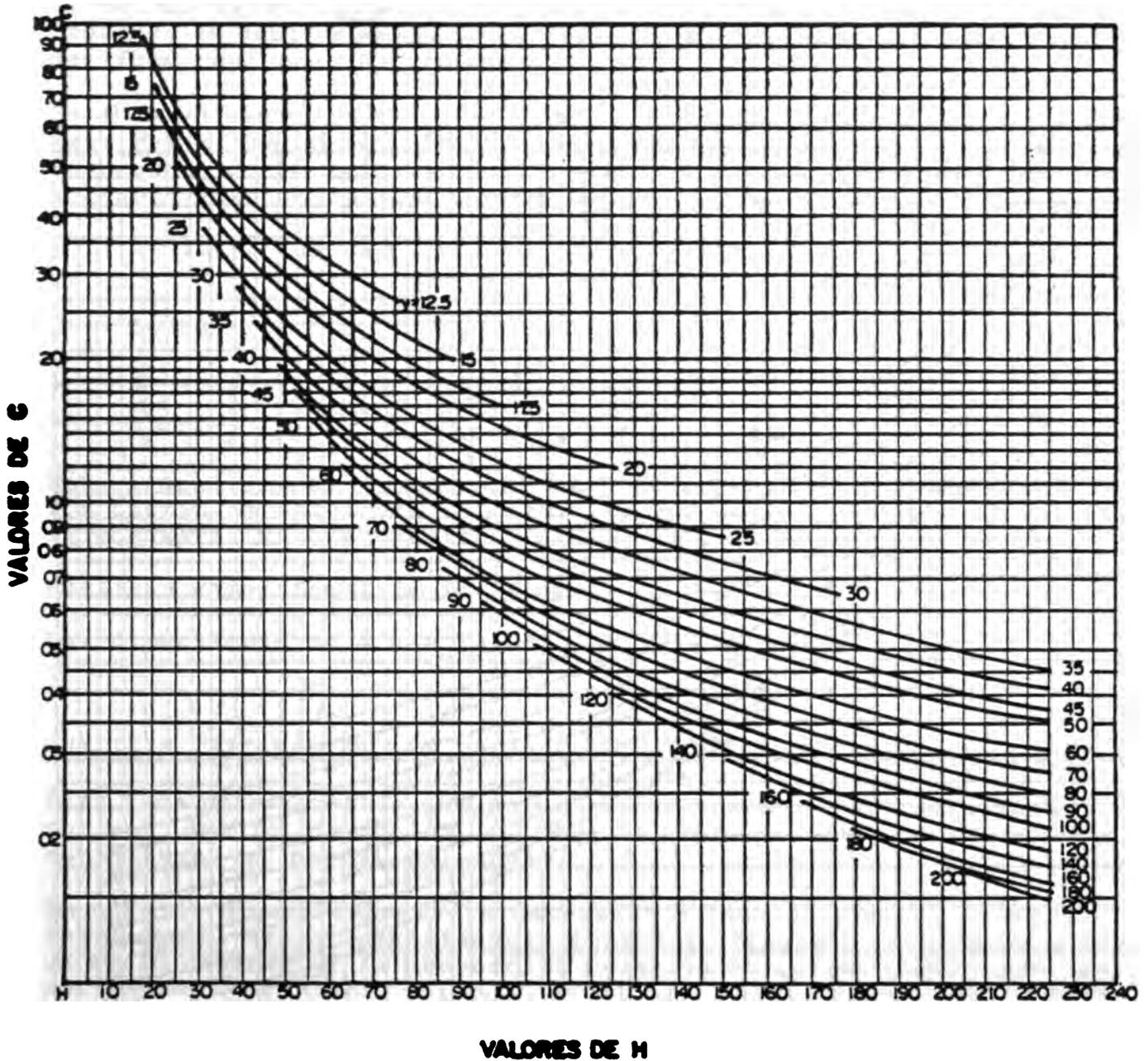
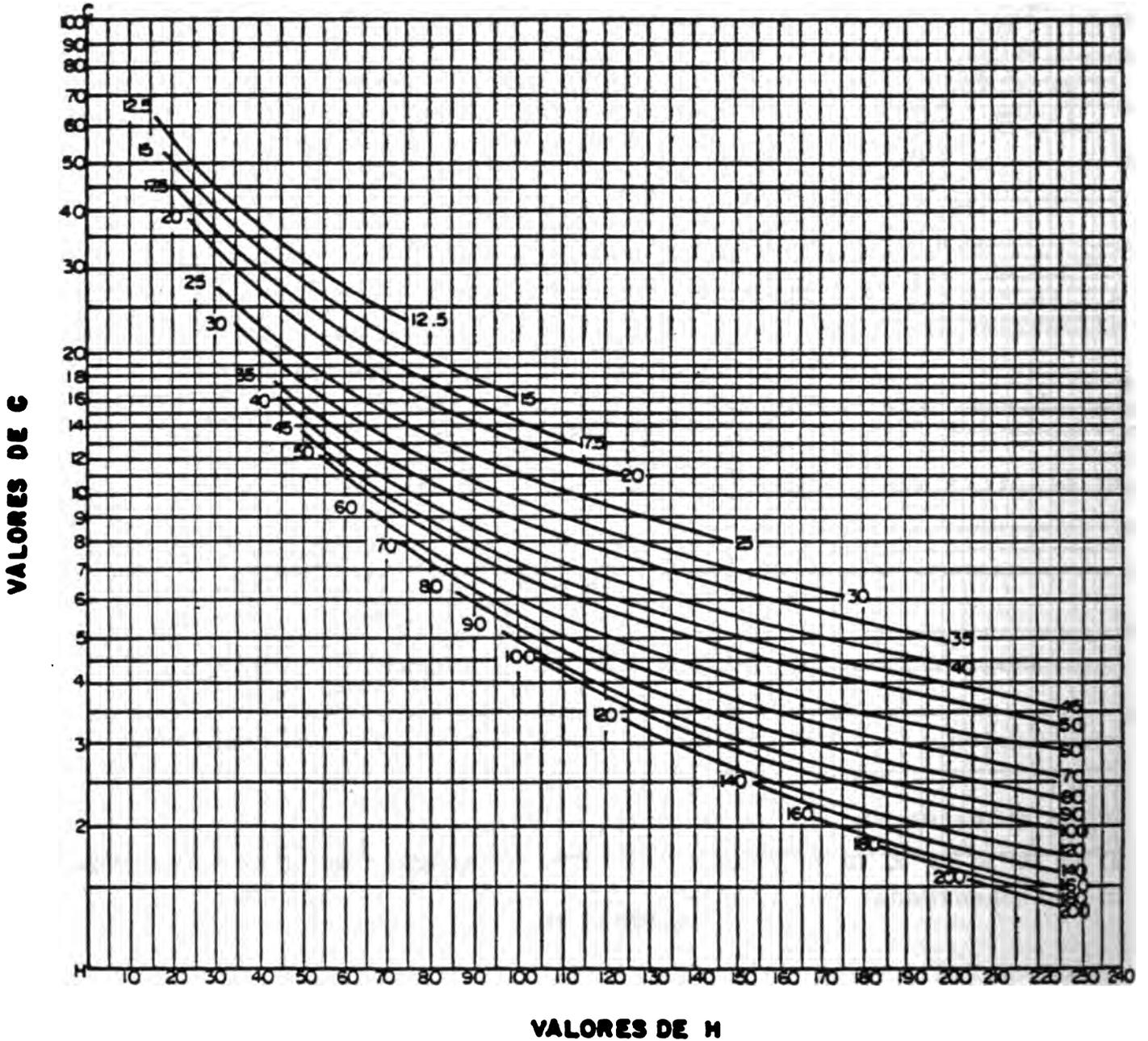


Figura 4

NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL VALOR DE C DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SEGUN EL AGUJERO DE BARRENO.

$r = 5 \text{ cm}$
 $s > 0.5 H$



Método inverso o Método de Porchet o caso del suelo seco. (Figura 5).

El método se emplea en los casos en que no se encuentra el manto freático es decir que el nivel del agua subterránea está por debajo del fondo del pozo de observación.

Se abre un hueco, como en el caso del método directo. Se llena de agua hasta una altura (h_1) corresponde al tiempo $t_1=0$. El nivel desciende a la altura h_n se mide t_n . Para calcular la conductividad se aplica la siguiente fórmula:

$$K = 1.15r \frac{\log(h_1 + r/2) - \log(h_n + r/2)}{t_n - t_1} \text{-----(5)}$$

Donde:

K= conductividad hidráulica, en cm/s

$h_1 = h_{t_1}$, altura del nivel freático al comenzar la prueba

$h_n = h_{t_n}$, altura del nivel freático al finalizar la prueba.

Este procedimiento permite calcular la conductividad hidráulica de los distintos estratos del perfil del suelo. Para cada situación se adecuará la infiltración a la capa de suelo de interés.

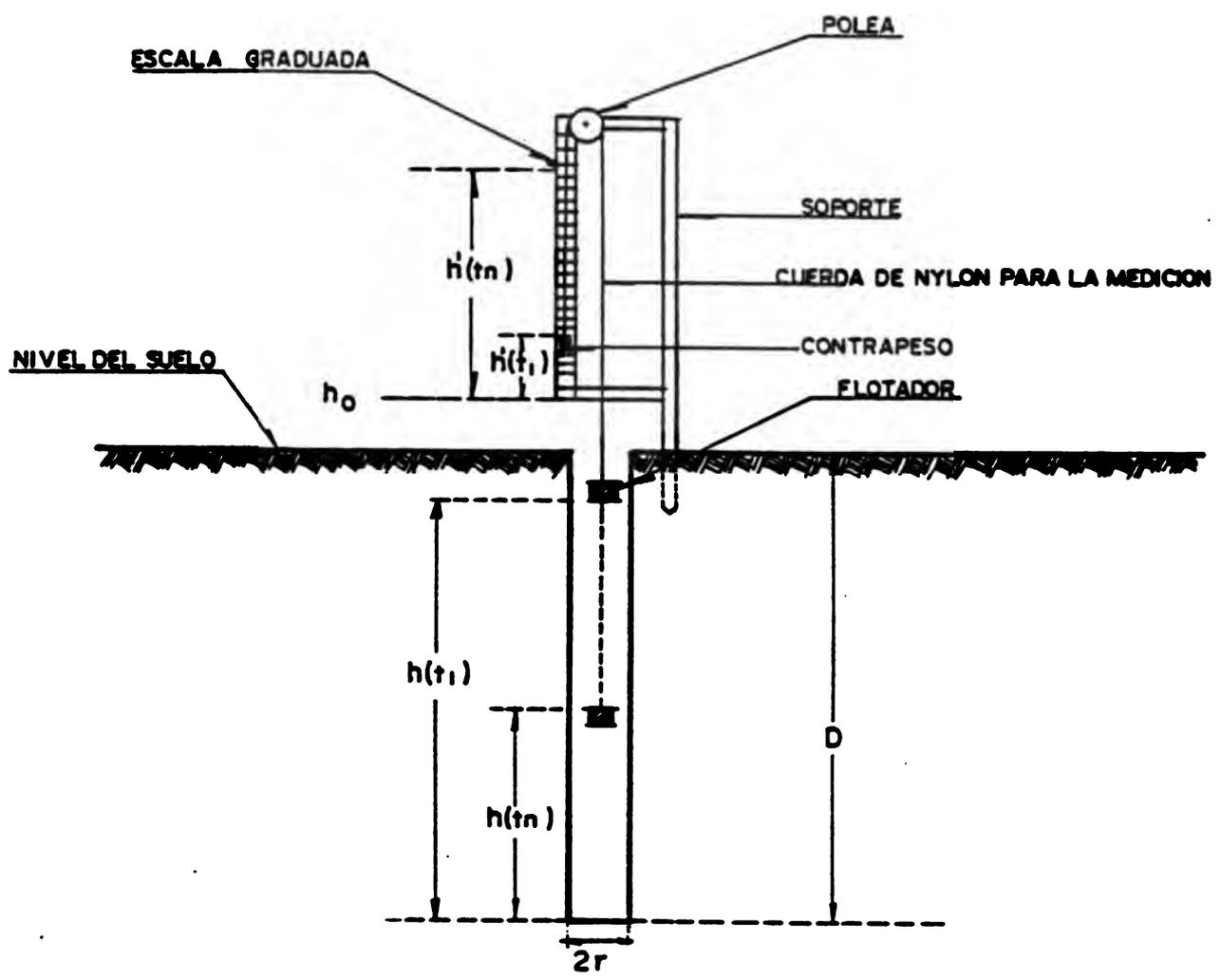
Análisis dimensional de la fórmula:

Las dimensiones de K son las de $\Delta h / \Delta t$ es decir cm/s; [L/T]

ANÁLISIS TEXTURAL DE LAS CAPAS QUE CONFORMAN EL PERFIL DEL SUELO

Para cada pozo a medida que se va profundizando se van determinando por el cambio de color o textura las diferentes capas que constituyen el perfil del suelo.

En seguida a cada capa se le determina al tacto la clase textural. Para esto se emplea el triángulo textural, figura 6. (La textura de un suelo depende de la proporción relativa en que se encuentran los componentes de arena, limo y arcilla). Sin embargo, se deberá tener en cuenta que existe una gama de posibilidades de los porcentajes relativos de arena, limo y arcilla que dan como resultado la misma clase textural, por ejemplo un suelo franco arcilloso puede tener 30% arcilla, 30% de limo y 40% de arena y también 35% de arcilla, 25% de limo y 40% de arena. En este trabajo la determinación textural se basa en la experiencia del operador para apreciar la presencia relativa de los componentes indicados.



ESQUEMA DEL EQUIPO Y PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA.

(METODO INVERSO)

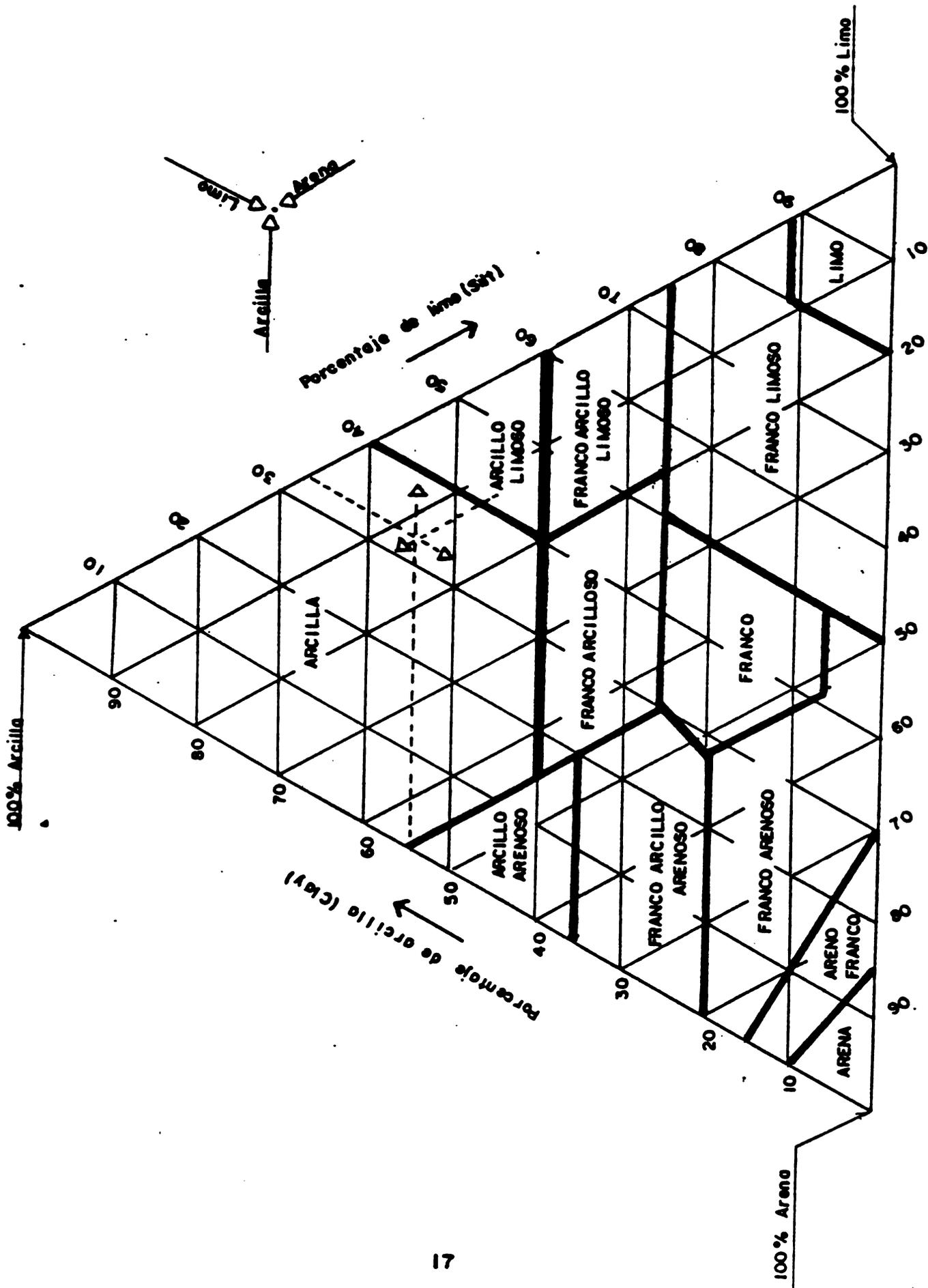


Figura 5 TRIANGULO DE CLASES TEXTURALES

LA CALIDAD DEL AGUA DEL SUBSUELO

Para apreciar la calidad del agua del subsuelo se ha utilizado la conductividad eléctrica CE, la cual es una medida de la cantidad de iones en solución. A mayor cantidad de sales mayor es el valor de la conductividad eléctrica. La unidad de medida es el micromho por cm. En general las plantas disminuyen sus rendimientos cuando aumenta la presencia de sales disueltas en el agua del suelo debido a la presión osmótica que exige mayor esfuerzo por parte de la planta para obtener el agua retenida por el suelo. Además cada ion ejerce una acción particular sobre cada cultivo. Para clasificar la calidad del agua según la cantidad de sales disueltas se emplea la figura 7. Los límites para las clases de salinidad son:

- 0- 250 micromohos/cm Bajo
- 250- 750 micromohos/cm Medio
- 750-2250 micromohos/cm Alto
- + 2250- micromohos/cm Muy Alto

Las plantas muestran una tolerancia relativa a la salinidad, unas son más sensibles que otras influyendo en gran medida el contenido de humedad del suelo. El arroz por crecer en un ambiente de saturación es menos afectado por las sales que otros cultivos que requieren una cierta proporción de aire para prosperar como las hortalizas o la caña de azúcar por esa ventaja se emplea el arroz para recuperar suelos salinos.

CALCULO DEL ESPACIAMIENTO DE DRENES

En los lugares donde haya necesidad de eliminar el exceso de agua subterránea se colocarán drenes que reciban el flujo con el fin de controlar el nivel freático. Los drenes pueden ser canales o tuberías enterradas con perforaciones para dejar pasar el agua al interior de la tubería. (Figura 8).

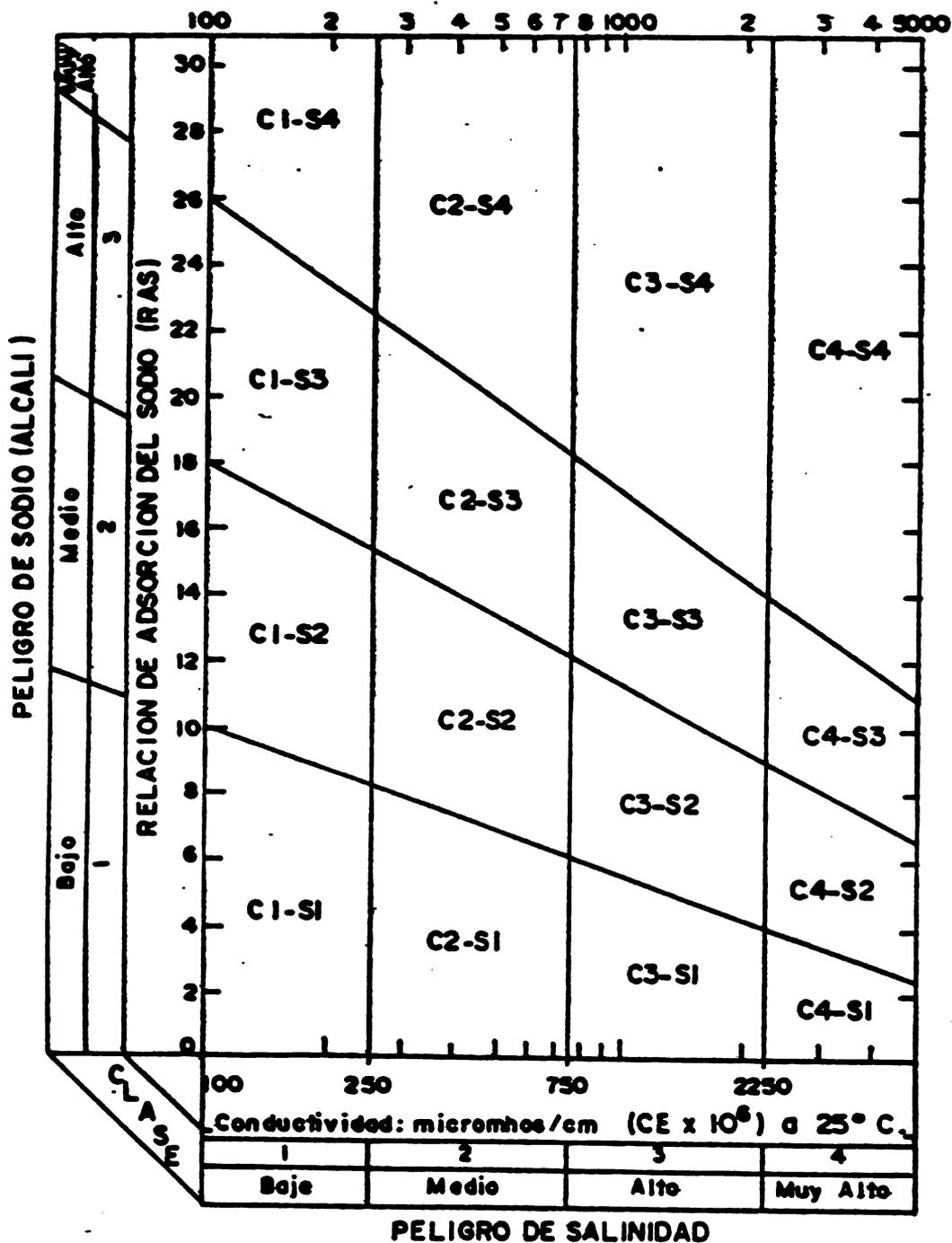
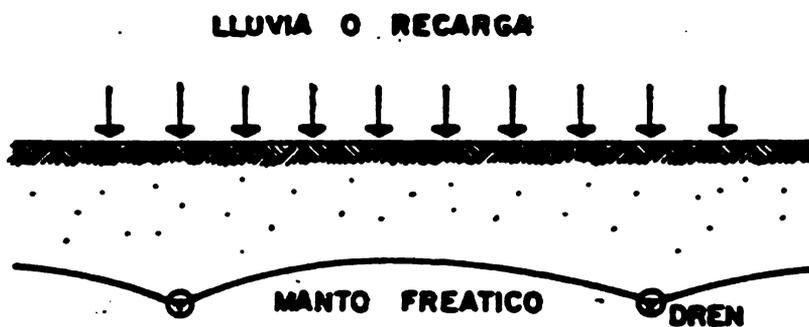


GRAFICO PARA LA CLASIFICACION DEL AGUA
(U.S. LABORATORIO DE SALINIDAD)

ESPACIAMIENTO DE DRENES. CLASES DE CONDUCTOS



ZANJAS ABIERTAS



DRENES ENTERRADOS

Figura - 8

Fórmulas para estimar el espaciamiento de drenes

La profundidad y el espaciamiento de los drenes depende de la conductividad hidráulica, del cultivo y de las prácticas de manejo del cultivo, del drenaje superficial y de la recarga al nivel freático.

Las expresiones que se emplean para el cálculo de espaciamiento de drenes se refieren al tipo de flujo permanente o variable. Para el primer caso se admite la hipótesis de que el manto freático está estabilizado y que la ecuación de continuidad requiere que el caudal de salida por los drenes sea igual al caudal de entrada que alimenta el acuífero. Estas situaciones se presentan en zonas de lluvia de baja intensidad o de penetración constante del agua de riego. Condiciones difíciles de cumplir. Los elementos que debemos conocer en el régimen permanente son el caudal y la profundidad de estabilización del manto freático. Para el caso de lluvias torrenciales ó de fuertes aplicaciones del agua de riego se aplican las fórmulas de régimen variable. En esta situación los criterios a satisfacer son:

1. Epoca de riego

N de días después de aplicado el riego el manto freático deberá encontrarse a la profundidad P m por debajo del suelo. (En general se toma $N=3$ días). El valor de p depende de la profundidad de sus raíces a la época del riego y su sensibilidad a la saturación por el agua:
Ejemplo

CULTIVO	P (METROS)
Hortalizas	0.50
Caña de azúcar	1.00

2. Epoca de lluvia

Se acepta que como consecuencia de la lluvia el manto freático se encuentre a una profundidad P por debajo del suelo con una frecuencia de N veces por año (Ejemplo $N=5$).

Las fórmulas de régimen permanentes son fáciles de aplicar y ofrecen una primera aproximación del espaciamiento, el cual puede ser ajustado según el conocimiento que se tenga de la zona por drenar.

Las expresiones para el flujo no permanente tienen en cuenta el movimiento del manto freático, tanto durante la recarga como durante la descarga. Ejemplo la recarga instantánea del acuífero por un riego por gravedad. La elevación del manto freático es R/μ donde R = recarga y μ la porosidad drenable; ambas están ligadas al tiempo de abatimiento del manto freático a partir de una situación inicial.

Fórmula de Hooghoudt (para flujo permanente), Figura 9a

$$L^2 = \frac{8 K_2 dh}{R} + \frac{4 K_1 h^2}{R}$$

Esta fórmula desarrollada en Holanda se aplica al flujo permanente y considera el caso en que convergen hacia el dren tanto el flujo horizontal como el flujo radial, esta situación se presenta cuando el estrato impermeable está a menos de $L/4$ que es lo más frecuente en la práctica. La expresión del espaciamiento considera un suelo con dos capas de diferente permeabilidad y que los drenes están colocados en la línea de separación (interfase).

Los símbolos representan:

L = Espaciamiento de drenes, en metros

K_1 = Conductividad hidráulica de la capa de suelo por encima de los drenes, en m/día.

K_2 = Conductividad hidráulica de la capa de suelo por debajo de los drenes, en m/día.

h = Altura del nivel freático en el punto medio de separación de los drenes con respecto al nivel de los drenes, en metros.

R = Percolación en m/día.

d = Espesor equivalente de Hooghoudt, en metros, depende de

L , D . y r (radio del dren)

$$d = \frac{L}{8 \left((L - 1.4 D/8) + (1/\pi \ln (0.7D/r)) \right)}$$

La aplicación de la ecuación requiere resolver la relación implícita que liga d con D y L para lo cual se procede por tanteos, lo cual se alijera con el uso de tablas o nomogramas. Para el caso de suelos homogéneos $K_1 = K_2$.

Fórmula de Glover- Dumm (para flujo no permanente), Figura 9b

$$L^2 = \frac{\pi^2 K D t}{\mu \ln (1.16 h_o/h_t)}$$

Los símbolos representan:

L = Espaciamiento de los drenes, en metros

K = Conductividad hidráulica, en m/día

D = Espesor del estrato donde hay flujo horizontal, en metros

KD = Transmisibilidad del medio poroso, en m²/día

μ = La macroporosidad o porosidad drenable (fracción drenable del medio poroso).

h_o = Altura del manto freático con respecto al lecho del dren, antes del abatimiento, en metros.

h_t = Altura del manto freático con respecto al lecho del dren, después del abatimiento, en metros.

t = Tiempo transcurrido entre el inicio y el final del abatimiento del manto freático, en días.

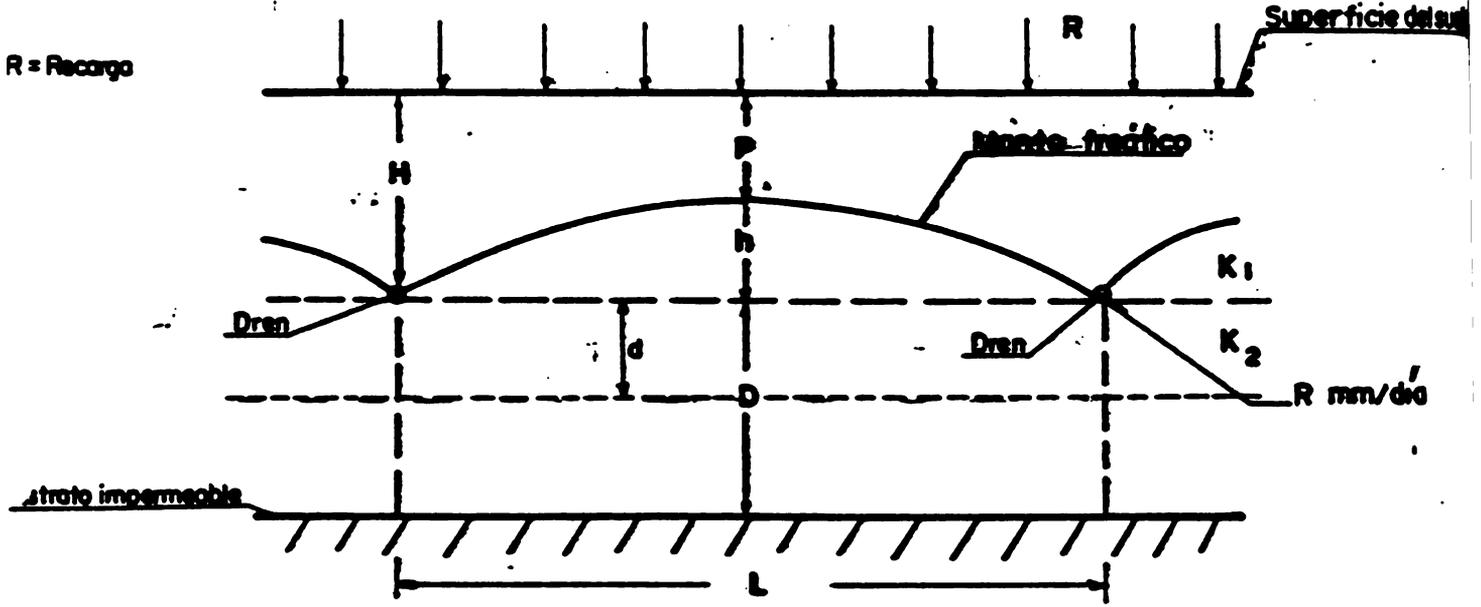
Determinación del valor de D

$$D = D_1 + D_2$$

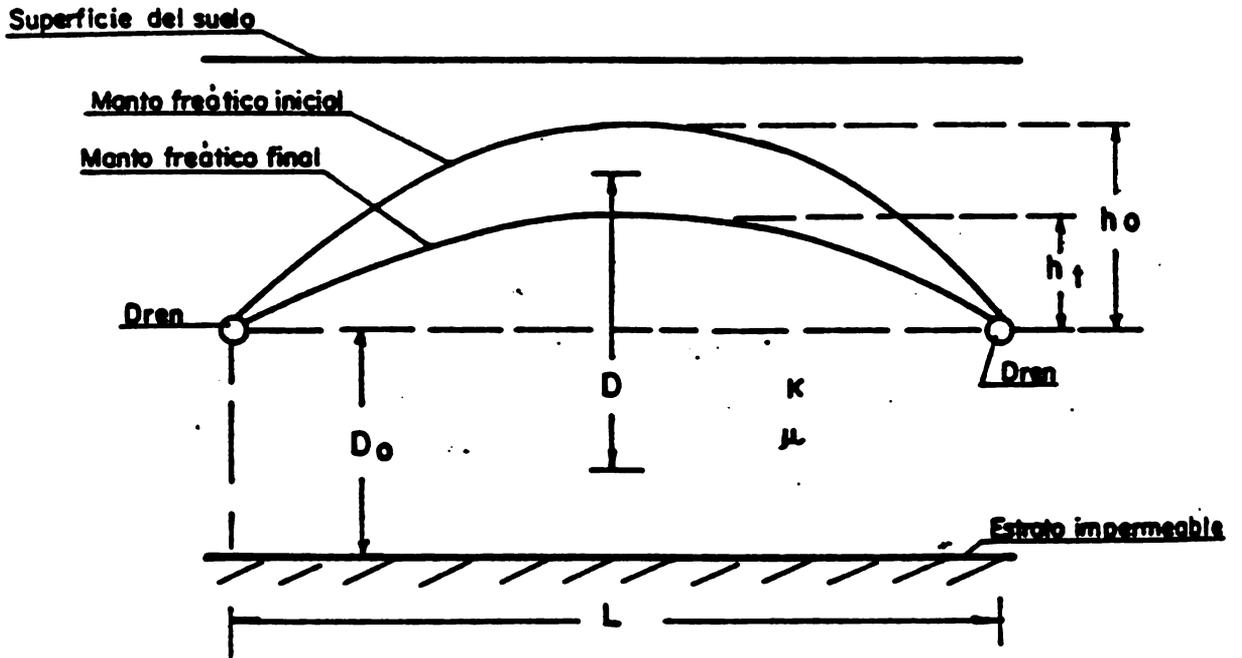
D_2 = Espesor equivalente de Hooghoudt

D_1 = Es la altura media del manto freático sobre los drenes en el movimiento de h_o a h_t .

ESQUEMA PARA LA APLICACION DE LA FORMULA DE HOOGHOUTT



ESQUEMA PARA LA APLICACION DE LA FORMULA DE GLOVER - DUMM Figura 9b



En la práctica D_1 , se calcula con la siguiente relación

$$D_1 = \frac{h_o + h_t}{2}$$

La ecuación de Glover-Dumm se aplica en zonas de riego y de lluvia, determinándose la recarga para cada situación, diseñando para el período más crítico. Para el cálculo del espaciamiento de los drenes se requiere conocer K , μ , D , la geometría de los drenes y la recarga y el abatimiento del manto freático en un tiempo determinado. La solución de la ecuación se realiza por tanteos porque hay que hallar d el espesor del estrato equivalente que es función de D_o , L y r .

III. RESULTADOS

En esta primera fase de los estudios de las necesidades de drenaje en el Distrito de Riego Arenal los esfuerzos se han concentrado en la instalación de la infraestructura para las mediciones del manto freático. Con este propósito, se seleccionaron 30 pozos domésticos y se perforaron 149 pozos de observación; su ubicación geográfica se muestra en los planos 1,2, 3 y 4. En el plano No.1 a la escala 1:25000 se indica los puntos de observación del manto freático. En el plano No.2 se presenta los pozos domésticos y los pozos de observación en el área de la segunda etapa. En el plano No.3 a la escala 1:10000 se observa los pozos perforados en el sector de San Luis y en el plano No.4 se han localizado los pozos de observación en el sector que será regado por el canal CO-1. (La Pacífica-Daisa).

En el plano No. 5 muestra la distribución espacial de la conductividad hidráulica en el Sector de San Luis. En los cuadros 1,2 y 3 se puede observar las características de los pozos domésticos: Nombre del propietario, coordenadas (x,y), elevación sobre el nivel mar. En el cuadro No.1 están los de San Luis, en el No.2 los de Paso Hondo y en el No.3 los de los Subdistritos Piedras y Cabuyo; Areas en las que todavía no ha llegado el agua de la laguna Arenal y que el manto freático está más profundo que en las áreas que sí están recibiendo el beneficio el riego. Para los pozos de observación se ha preparado 3 cuadros para cada zona: Uno referido a la características de cada pozo tales como su No. de identificación, las coordenadas para su ubicación, la elevación con respecto al nivel medio del mar del punto de referencia para el trazo de los isohypsas así como la profundidad de perforación del pozo, la profundidad del estrato impermeable y la conductividad hidráulica. Además se indica la altura de la referencia a la boca del tubo (Htr) y la altura el suelo a la referencia (Hrs) para el cálculo de los isobatas. En una hoja electrónica se tiene almacenados estos datos para su procesamiento. El segundo de estos cuadros indica las profundidades del manto freático con respecto al nivel del suelo. Para las diferentes fechas de lectura, permitirá observar las fluctuaciones del manto freático en función del tiempo para cada pozo. El tercero muestra las elevaciones del manto freático con respecto al nivel medio del mar, esta información servirá para elaborar los planos de isohypsas que nos indican la orientación del flujo del agua subterránea a fin de colocar los drenes de intercepción para encaminar la salida del agua hacia los cursos naturales. Los cuadros se refieren a:

No. de cuadro	Sector
4a, 4b y 4c	San Luis
5a, 5b y 5c	Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez
6a, 6b y 6c	Ampliación Paso Hondo (Taboga)
7a, 7b y 7c	Area regada por el canal CO-1
8a	Paso Hondo

La infraestructura de estudios de drenaje recién ha sido instalada en el sector Paso Hondo por lo que aún no se tienen datos para las isobatas ni para las isohypsas.

En el cuadro 9 se presentan las características para las escalas instaladas en las fuentes de agua (ríos, quebradas, drenes naturales) y los piezómetros que ayudan a trazar las isohypsas.

La calidad del agua del subsuelo se indica en los cuadros No.10a y 10b para los pozos domésticos, cuadro No.11 para San Luis, No.12 para la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, No.13 para Ampliación Paso Hondo y No.14 para el área regada por el canal CO-1

Una visión espacial de los valores de la salinidad para el sector de San Luis se muestra en los planos 6 y 7 correspondiente, respectivamente, a diciembre 1992 y marzo 1993.

Con el fin de mostrar el comportamiento espacio-temporal del manto freático así como la orientación del flujo en el sector de San Luis (dado que posee mayor número de medidas), se preparan los planos 8 a 11 para las isobatas de octubre 1992, y febrero, marzo y mayo 1993. Igualmente los planos 12 a 15 de isohypsas para los mismos meses.

Las fluctuaciones puntuales del manto freático, en función del tiempo se presenta en las figuras identificadas como sigue:

FIGURA	SECTOR
10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f, 10g, 10h, 10i	San Luis
11a, 11b, 11c, 11d, 11e 11f, 11g	Ampliación Paso Hondo (Taboga)
12 a, 12 b	Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN)
13a, 13b	Area regada por el canal CO-1 (La Pacífica)

14a, 14b, 14c, 14d, 14e,
14f

Pozos domésticos en San Luis

15a, 15b, 15c, 15d, 15e,
15f

Pozos domésticos en Paso Hondo

16a, 16b

Pozos domésticos en EEEJN

17

Pozos domésticos (Ampliación
Paso Hondo, Taboga).

Estimación del espaciamiento drenes para el Distrito Arenal

La aplicación de las formulas de Hooghoudt y Glover-Dumm a las condiciones observadas en el Distrito de Riego Arenal nos dan los siguientes valores:

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA m/día	ESPACIAMIENTO DE DRENES	
	HOOGHOUDT	GLOVER-DUMM
0.175	11	11.0
0.650	22.5	22.5
2.50	45	40
5.00	65	55
10	90	75

IV. INTERPRETACION DE RESULTADOS

Este documento sobre el estudio de las necesidades de drenaje en el Distrito de Riego Arenal cubre el período noviembre 1992- 30 de junio de 1993. La actividad comenzó con la observación del manto freático en los pozos domésticos de San Luis, y Paso Hondo, luego se instalaron 149 pozos de observación, sucesivamente , 26 en San Luis, 54 en Ampliación Paso Hondo, 9 en la estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, 16 en el área que será regada por el canal CO-1 y 44 en Paso Hondo. Consecuente la mayor cantidad de datos corresponde al sector San Luis que tomaremos como ejemplo para ilustrar lo que debe proponerse para los otros sectores.

En lo que se refiere a los tipos de suelo en San Luis se ha encontrado un alto porcentaje de texturas franca, Franco-Arenosa y algunas parcelas de suelos arcillosos (Tacsan-Nilo). En Ampliación Paso Hondo (Taboga) Las texturas son predominantemente arcillosas y los perfiles muestran indicaciones de mal drenaje. En la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez se encuentra texturas Francas. En Paso Hondo los suelos son, en su mayoría, arcillosos y algunos perfiles indican mal drenaje. En el área que será regada por el canal CO-1 (La Pacífica) los suelos son Francos con dominancia de la textura Franco-Arcillosa. La textura varia tanto en el espacio como en el perfil por lo que lo aquí se presenta es sólo una indicación. En lo que respecta a la conductividad Hidráulica los valores encontrados muestran una gama muy amplia: desde 0.011 m/día hasta 29.683 m/día es el Sector de San Luis. La textura, el grado de compactación y la presencia de galerías o fisuras juegan un papel importante en la transmisibilidad del agua por el suelo. En la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez la amplitud de variación se extiende desde 6.19 m/día a 20.19 m/día. En Ampliación Paso Hondo la Amplitud es de 0.004 a 30.224 m/día. En el área que sera regada por el canal CO-1 los valores extremos son: 0.030 y 3.57 m/día. En Paso Hondo los valores hallados varían de 0.002 y 13.474 m/día. En general existe una relación entre la textura y la conductividad hidráulica, los suelos arcillosos tienen valores de conductividad hidráulica menores que los suelos arenosos. Lo conveniente es determinar la conductividad hidráulica para cada pozo de observación y ser cuidadoso en la extrapolación.

Referente a la calidad del agua subterránea la mayoría puede ser ubicada en la clase 2 (menor de 750 mmhos), excepto en puntos singulares en San Luis pozos No.9 y 15 clase 3 y en Ampliación Paso Hondo (Taboga), pozos No.4,5,11,12,18,27,29,31,38,42,45 y 48 donde la salinidad es alta cuya causa puede estar en la ausencia de drenaje. Para tener mayores elementos de juicio es conveniente realizar análisis completos de las aguas de estos pozos y relacionarlos con la profundidad del nivel freático. Asimismo, debe observarse el drenaje superficial, el riego y la lluvia con el fin

de hacer una buena interpretación de la situación y proponer las medidas apropiadas.

Las fluctuaciones del manto freático con respecto al nivel del suelo nos permiten deducir el comportamiento del nivel del agua subterránea en función del tiempo para determinar la necesidad de drenaje. Los pozos escogidos con este fin para el área de San Luis nos indican dos situaciones: la primera una posición ciclica del manto freático que sube en abril, mayo, junio, baja en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo lo que supone una concordancia con la época de lluvia y de riego. En el primer período el manto freático sube hasta 0.40 de la superficie y en el segundo desciende a profundidades mayores a 2 metros, en estos casos el control se hará mediante el drenaje superficial y la supervisión del riego mejorando la eficiencia de aplicación. La segunda situación muestra una estabilización del manto freático a una profundidad que varía entre 0.8 a 1.20 m la cual puede ser el resultado de un balance entre las entradas y las salidas se requiere más observación para deducir el porqué del comportamiento del manto freático.

En los pozos seleccionados en Ampliación Paso Hondo (Taboga) el período de observación (abril-mayo) indica que el manto freático se sitúa a menos de 1 m. de profundidad. Las observaciones subsiguientes del manto freático, salinidad, riego y lluvia ayudarán a la interpretación correcta de la situación para proponer la solución apropiada. Los pozos de observación escogidos en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez muestran variaciones temporales del manto freático, el cual sube en la época de lluvia y desciende en estiaje, aunque se encuentra a menos de 1.40 m. de profundidad.

En el área que será regada por el canal CO-1, que actualmente es regada parcialmente con una derivación del río Corobicí el manto freático muestra variaciones estacionales. La respuesta del manto freático depende de la composición del perfil del suelo, así como de la lluvia y del riego.

Las fluctuaciones del manto freático observado en los pozos domésticos se muestran en las figuras 14a a 14f y nos indican que el manto freático ha ascendido desde que se practica el riego. En San Luis; en la mayoría de los pozos está alrededor de 2 m. de profundidad y cuando se perforaron se encontraba a más de 8 metros (versión de los agricultores del sector). Si el régimen de lluvia no ha sufrido cambios importantes puede deducirse que el riego tiene un efecto en el comportamiento del manto freático.

Los pozos domésticos en Paso Hondo indican que el manto freático en general se encuentra a más de 2 metros de profundidad con fluctuaciones estacionales con excepciones, por ejemplo, el pozo

ubicado en la finca del señor Marcial Villegas, el cual a pesar de mostrar fluctuaciones mínimas el manto freático está permanentemente a menos de 0.50 de la superficie del suelo lo que si el terreno se destina, a un cultivo que no sea arroz, se debe acondicionar un dren para bajar el nivel del manto freático.

En la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez el manto freático está cerca a la superficie, sin embargo, la textura favorece la evacuación del exceso del agua por lo que debe observarse el comportamiento de los drenes superficiales donde puede encontrarse la solución a este problema.

El pozo doméstico seleccionado en el área de Ampliación Paso Hondo muestra el manto freático a menos de 1 m. de profundidad por lo que es conveniente hacer un estudio detallado de las necesidades de drenaje en Ampliación Paso Hondo para delimitar las zonas con problemas de saturación y de salinidad y proponer la solución apropiada.

Análisis de las Isobatas en el Sector San Luis

Octubre 1992; Epoca de lluvias. En este mes las isobatas más profundas están cerca al río Cañas y el manto freático esta más superficial hacia el interior del área agrícola, cerca al canal salitral el manto freático es menos profundo. La profundidad del manto freático va desde 0.25 m. hasta 2 m. Las zonas de cambio de la orientación de las isobatas obedece a los cambios del tipo de suelo y a la presencia de fuentes de agua (canales, quebradas y ríos).

Febrero 1993; Epoca seca. En este mes las isobatas más profundas también estan cerca al río Cañas y son menos superficiales que en octubre y se encuentran desde 0.5 a 2.0 m. de profundidad se aprecian tres zonas entre esas profundidades: la del noreste, alrededor del canal salitral, la del Centro alrededor del canal Jabilla y del Oeste más allá del cambio de dirección del río Cañas.

Marzo 1993; Epoca seca, las isobatas se extienden desde 0.25 m. La disposición es similar a la de febrero, excepto mayor número de zonas con cambio de orientación en las líneas.

Mayo 1993; Epoca lluviosa pero después de una larga sequía, las isobatas van desde 0.5 a 2.0 m. En este intervalo se aprecia que el manto freático está más superficial hacia el centro de la parte noreste de San Luis y esta más profundo a medida que se aproxima a los límites. Las isobatas más profundas estan más próximas al Río Cañas.

Análisis de las Isohyetas en el Sector San Luis

Octubre 1992. Las líneas son perpendiculares al Río Cañas y a la quebrada Salitral, lo que significa que el flujo es paralelo a estas fuentes de agua. En la parte Sur Oeste de San Luis, el Río Cañas drena al acuífero. La dirección del flujo es Nor-Este a Sur Oeste.

Febrero 1993. La orientación es similar a la de octubre 1992 y también el río Cañas en la zona Sur-Oeste drena al acuífero.

Marzo 1993. Igualmente, la orientación de las líneas es similar a los de octubre de 1992.

Mayo 1993. La similitud persiste, sin embargo, hay que remarcar el hecho que el río Cañas en la zona Sur Oeste drena al acuífero con mayor intensidad.

El espaciamiento de drenes

Teniendo en cuenta que el espaciamiento de drenes está en relación directa con la conductividad hidráulica. En los lugares donde ésta es grande el espaciamiento será mayor y viceversa. La necesidad de instalación de drenes subterráneos depende de la sensibilidad de los cultivos a la saturación: El arroz no necesita drenaje subterráneo de tal manera que si en los lugares que tienen el manto freático permanentemente cercano a la superficie se siembran cultivos sensibles primero habrá que pensar en mejorar el drenaje superficial para evacuar los excesos de agua de lluvia, simultáneamente controlar el riego para reducir la recarga del acuífero, adaptar el tipo de cultivo al tipo de suelo y finalmente si ante todo lo realizado persiste el problema de drenaje hacer zanjas abiertas a intervalos de 25 m. en los lugares donde la conductividad hidráulica es igual o inferior a 0.65 m/día y observar el comportamiento del cultivo y del manto freático, esto debido a que la solución a un problema de drenaje es de carácter práctico puesto que las variables que intervienen en el cálculo del espaciamiento son complejas y no tienen un valor único.

V. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados de los estudios de las necesidades de drenaje en el área del Distrito de Arenal nos conduce a presentar las siguientes conclusiones:

1. La infraestructura existente de pozos de observación y de pozos domésticos permitirá medir el comportamiento del manto freático en las áreas de riego.
2. Los datos captados hasta el momento, su representación gráfica tanto puntual como espacial indican un ascenso del nivel freático.
3. Para el caso de San Luis, donde se cuenta con mayor cantidad de datos, las isobatas muestran que existen lugares donde el manto freático está permanentemente a menos de 0.50 m por debajo del suelo, lo cual requiere una cuidadosa observación para darle un tratamiento adecuado si es que las tierras afectadas no se dedican al cultivo de arroz.
4. En general, el comportamiento del manto freático responde a las influencias del riego y de la lluvia. Se acerca a la superficie en las épocas de riego y de la lluvia y en el caso contrario se aleja.
5. Para el caso de San Luis podemos deducir de las isohypsas que:
 - 5.1. El flujo subterráneo es paralelo a las corrientes de agua: río Cañas y Quebrada Salitral.
 - 5.2. En la parte Sur-Oeste el río drena al acuífero.
6. En San Luis y en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez en los lugares donde los suelos son Francos, Franco arenosos, un estudio del drenaje superficial puede resolver el problema de manto freático alto.
7. En los suelos arcillosos de Paso Hondo, Ampliación Paso Hondo y en los Subdistritos de Piedras y Cabuyo, las necesidades de drenaje pueden presentarse para las parcelas que son sembradas de cultivos otros que el arroz.

8. En los lugares donde sea necesario instalar drenes subterráneos estos se colocarán con espaciamiento de 50 metros, pero se observará el comportamiento del manto freático para determinar si se requiere intercalar otra línea de drenes.
9. La salinidad, en Ampliación Paso Hondo, debe ser estudiada cuidadosamente y realizar análisis completos de muestras de agua para los pozos indicados con alta conductividad eléctrica.

VI. RECOMENDACIONES.

1. El Distrito de Riego Arenal debe de adquirir el equipo para los estudios de drenaje: barrenos, instrumentos para determinar la conductividad hidráulica a fin de continuar con los estudios en las áreas que se pondrán bajo riego.
2. Para estimar los requerimientos de personal, tiempo, material, equipo y vehículos puede considerarse un pozo de observación por cada 100 hectáreas.
3. El Departamento de Operación y Mantenimiento del Distrito debe de mantener el grupo de trabajo que ha participado en los estudios realizados para elaborar este documento, con el fin de continuar la expansión de la infraestructura y hacer las interpretaciones de los efectos del manto freático y de la salinidad para proponer las medidas correctivas de drenaje apropiadas. Es un grupo muy competente y que ha adquirido una buena experiencia en la materia.
4. Dentro de los estudios de drenaje se recomienda hacer dos análisis completos de agua por año, (aniones y cationes, CE y pH). Determinar la relación de adsorción de sodio para juzgar del problema de salinidad y alcalinidad.
5. Hacer una interpretación de las isohypsas y de los isobatas, así como de las fluctuaciones del nivel freático cada 6 meses y proponer las medidas convenientes.
6. Los estudios de drenaje deben ser una actividad permanente del Departamento de Operación y Mantenimiento y formar parte del programa Anual Operativo.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Millar A. Agustín, 1978. Drenagen de Terras Agricolas (Drenaje de Tierras Agrícolas) bases Agronomicas. 276 páginas. Mc Graw Hill. Río de Janeiro Brasil.
2. ILRI, 1978. Internacional Institute For Land Reclamation and Improvement (Instituto para la Rehabilitación y el Mejoramiento de la tierra). Principios y Aplicaciones del drenaje (4 volúmenes) Wageningen Holanda.

ANEXO I

CUADROS

CUADRO 1

**POZOS DOMESTICOS PARA OBSERVAR EL MANTO FREATICO EN SAN LUIS
DISTRITO DE RIEGO ARENAL**

No. DEL POZO	COORDENADAS		ELEVACION m.s.r.m.	PROFUNDIDAD DEL POZO m	ELEVACION DEL MANTO FREATICO		PROFUNDIDAD DEL MANTO FREATICO POR DEBAJO DEL SUELO. m
	X	Y			m.s.r.m.	04-03-93	
1	Roberto Campos*	414600	261680	4	27.075	24.885	1.55
2	Raúl Barabona *	413558	261460		23.211	20.251	2.05
3	Gerardo Salguero *	414150	261735		25.698	23.078	1.67
4	Manuel Rodríguez R.*	413160	261940	4	23.185	19.845	3.34
5	Petronila Rodríguez *	413440	261930	7	23.560	21.080	2.48
6	Faustina López*	413415	261525	7	23.947	21.357	2.37
7	Israel Chavarría*	414390	262275	5	28.416	24.916	3.21
8	Juan Manuel Sánchez*	412680	261400	10	20.254	16.866	3.39
9	Eduardo Bastos *	411230	261045	2	15.969		seco
10	Marciano Cárdenas*	415695	262190		34.580	29.380	4.40
11	Emilio Zeledón	416425	263370		43.543	40.843	2.70

CUADRO 2

POZOS DOMESTICOS PARA OBSERVAR EL MANTO FREATICO EN PASO HONDO, LA GUARIA
AMPLIACION PASO HONDO Y LA ESTACION EXPERIMENTAL EJM

No. DEL POZO	COORDENADAS		ELEVACION m.s.n.m.	PROFUNDIDAD DEL POZO ■	ELEVACION DEL MANTO FREATICO		PROFUNDIDAD DEL MANTO FREATICO POR DEBAJO DEL SUELO. ■	OBSERVACION
	X	Y			m.s.n.m.	m.s.n.m.		
1	Luis Vásquez	407985	264970	40.645		4.945	5.00	
2	Agropecuaria S.A.	410260	267015	49.588	3.00	48.308	0.41	
3	José Cambroner	410020	267965	54.418	6.50	52.768	1.23	
4	Manuel Jiménez	410445	268630	26.550		21.830	4.70	
5	Juan José Morena L.	410690	268625	27.485		26.345	1.14	
6	Escuela Paso Hondo	411925	267855	38.117		35.217	2.53	
7	José Benjamín Toruño	411055	268795	26.709		21.689	5.02	
8	José Salvador Hernández	412270	268650	44.053		37.308	6.75	
9	Daniel Aguilera	412380	269715	38.190	9.00	35.814	2.38	
10	Alejandro Briceño	412510	269940	35.426	8.00	33.716	1.71	
11	José Angel Ulate	408450	264710	14.198		7.358	6.24	
12	Roberto Downing	409755	266320	26.616		23.666	2.73	
13	Alain Carballo	411615	267210	32.180		26.860	4.38	
14	Humberto Gutiérrez	415090	267960	53.948		48.298	4.91	
15	Luis Obando	413035	270365	45.476		38.514	6.97	
16	Maternidad (Ganad)EJM	410680	256950	9.966		7.046	2.42	
17	Investigaciones EJM	410210	256060	8.311		7.311	0.41	
18	Cortijo (Taboga)	407510	259290	10.546		6.756	3.41	
19	Tiquiscal (Taboga)	407030	259910	8.498		6.438	0.85	

CUADRO 3

**RELACION DE POZOS DOMESTICOS DEL AREA DE LA
SEGUNDA ETAPA, PROYECTO ARENAL-TEMPISQUE**

FECHA	NO. DEL POZO	PROPIETARIO ACTUAL	PROFUNDIDAD DEL MANTO FREATICO POR DEBAJO DEL SUELO	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA MILIMOHOS	PH	OBSERVACIONES
11-11-92	28	Agríc. Caballo Blanco 1	6.59			
11-11-92	29	Agríc. Caballo Blanco 2	11.97			
11-11-93	30	Agríc. Caballo Blanco 3	2.93			
17-11-92	31	Falconiana 1	6.81			
17-11-92	32	Falconiana 2	3.60			
17-11-92	33	Ganadera Cabo Blanco 1	10.31			
17-11-92	34	Ganadera Cabo Blanco 2	6.16			
17-11-92	35	Manantial Chaverri	0.38			Estanque
17-11-92	36	Gallegos Martínez1	8.07			
17-11-92	37	Gallegos Martínez2	4.01			
17-11-92	38	Gallegos Martínez3	3.20			
17-11-92	39	Campamento del IDA (Tamarindo1)	4.24			
17-11-92	40	Campamento del IDA (Tamarindo)	6.56			
17-11-92	41	Hermanos Solís	5.06	0.70	8.08	
19-11-92	42	Andrés López	1.80	0.34	7.38	Está en una Depresión
19-11-92	43	Corredor Ecológico Bagatzí	6.79	0.93	7.75	
19-11-92	44	Willian Araya (Playitas)	1.06	0.66	7.55	
19-11-92	45	Juan R. Rojas Montoya (Playitas)	1.30	0.40	7.37	
19-11-92	46	Dña. Angela (S. Ramón)	6.86	4.05	7.26	
19-11-92	47	Escuela San Ramón	3.29	0.56	7.74	
19-11-92	48	Parque Palo Verde	4.55	0.68	7.57	
19-11-92	49	Falconiana cerca al río Piedras	2.55	0.22	6.95	
19-11-92	50	Ulate y Obando	2.87	1.25	7.98	
19-11-92	51	Humberto León	7.00			

CUADRO 3 (CONTINUACION)

**RELACION DE POZOS DOMESTICOS DEL AREA DE LA
SEGUNDA ETAPA
PROYECTO ARENAL-TEMPISQUE**

FECHA	NO. POZO	PROPIETARIO ACTUAL	PROFUNDIDAD DEL MANTO FREATICO POR DEBAJO DEL SUELO (m)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
23-10-92	1	Finca Gaza	15.36	
23-10-92	2	Ignacio López	17.40	
23-10-92	3	Las Uvas	3.15	tiene riego
23-10-92	4	Daisa (La Pacifica)	0.70	tiene riego
23-10-92	5	Hda. Cierzo	8.40	
23-10-92	6	Maquisa	11.35	
23-10-92	7	Mojica	1.75	tiene riego
23-10-92	8	Masavi	8.40	
27-10-92	9	Nery Zúñiga Torres	8.80	
27-10-92	10	José J. Alvarez Rojas	9.74	
27-10-92	11	Inversiones Chavarría L.	12.24	
27-10-92	12	Carlos Pomareda	8.70	
04-11-92	13	La Carreta	9.55	
04-11-92	14	Camp. Verde (1)	12.85	
01-11-92	15	Camp. Verde (2)	10.61	
04-11-92	16	San Jerónimo	3.74	
04-11-92	17	Carlos Sanabria	14.78	
04-11-92	18	Justo Pastor	19.90	
04-11-92	19	Marina Quirós (Aguas C.)	8.46	
04-11-92	20	Ranchos HOrizontes (Dikibí)	5.69	
04-11-92	21	Ranchos Horizontes	5.00	
04-11-92	22	Ranchos Horizontes	6.71	
11-11-92	23	Finca La Soga	6.85	
11-11-92	24	Semo S.A.	5.82	
11-11-92	25	Fca. S. Martín (IDA)	18.45	
11-11-92	26	Raul Solís SRL	9.53	
11-11-92	27	ALFRAN DEL NORTE*	1.40	

* **OBSERVACION:** Hay una corriente líquida represada.

CUADRO 4a
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 REGISTRO DE POZOS DE OBSERVACION DEL NIVEL FREATICO
 SECTOR: SAN LUIS

# DE POZO	PARCELA	ELEV REF (asna)	Htr (m)	Hrs (m)	COORDENADAS		DATOS DEL POZO		
					Y	X	Prof. Pozo (m)	Prof. E.I (m)	K (m/dia)
CN-12-1	Franklin Campos	56.977	0.06	0.00	265057.220	416073.400	2.00	0.96	0.59
CN-12-2	Benjamín Chaves	55.679	0.10	0.00	265706.397	415769.046	2.00	>2.00	3.27
CN-12-3	Tacsan-Nilo	43.106	0.17	0.00	264328.130	415363.500	1.90	1.80	0.03
CN-12-4	Caraelo Ordoñez	39.528	0.19	0.09	263700.187	415328.908	2.00	1.60	0.00
CN-12-5	Ismael Pereira	51.790	0.12	0.12	265131.310	415474.010	1.30	1.23	0.90
CN-12-6	Nilo-Casa	40.816	0.10	0.12	264100.098	414844.135	2.00	0.48	1.42
CN-12-7	Gonzalo Arguello	35.895	0.23	0.22	263455.355	414520.130	2.00	0.50	0.62
CN-12-8	Casa Senara	29.614	0.09	0.08	262692.949	414562.049	2.20	>2.00	1.31
CN-12-9	Carlos Bravo 2	33.106	0.15	0.13	262845.000	415337.858	2.00	1.80	0.20
CN-12-10	Miguel Delgado	26.729	0.07	0.00	262042.071	414303.760	2.20	>2.00	2.55
CN-12-11	Petronila Rodríguez	22.808	0.13	0.07	261766.337	413428.424	2.00	>2.00	1.35
CN-12-12	Ricardo Arce	21.286	0.11	0.03	261635.188	412926.111	2.00	1.05	2.06
CN-MD-10-1-23	Erick Bastos 1	20.366	0.07	0.07	261820.690	412459.446	2.00	>2.00	2.20
CN-MD-10-1-24	Marco T. Ajón	18.261	0.07	0.12	261409.494	412186.220	1.75	>1.75	2.03
CN-MD-10-1-25	Eduardo Bastos	15.903	0.08	0.12	260938.468	411736.052	2.00	>2.00	29.60
CN-MD-10-1-26	Juan M. Sánchez	17.643	0.08	0.00	260995.572	412596.435	2.00	>2.00	5.97
CN-12-13	Luz M. Rodríguez	19.334	0.16	0.10	261254.258	413176.425	2.00	>2.00	5.65
CN-12-14	Raul Barahona	21.216	0.16	0.08	261125.238	413006.558	2.00	>2.00	5.97
CN-12-15	Luis Rodríguez	17.741	0.00	0.00	260679.620	413451.900	2.00	2.00	3.73
CN-12-16	Simon González	23.533	0.12	0.05	261233.340	414540.641	2.00	1.30	15.70
CN-12-17	Ahías Rojas	27.731	0.10	0.11	261747.234	415404.164	1.90	1.40	3.20
CN-12-18	Severo Villarreal	30.151	0.10	0.07	262196.979	414870.984	2.00	>2.00	13.04
CN-12-19	Antonio Ulata	35.916	0.00	0.06	262549.644	415962.047	2.00	>2.00	21.30
CN-12-20	Carlos Bravo 1	41.076	0.10	0.02	262728.651	416504.407	2.00	>2.00	4.17
CN-12-21	Ovelio López	44.006	0.06	0.12	263564.306	415950.564	2.00	2.00	0.12
CN-12-22	Tacsan	45.586	0.09	0.10	264190.687	416265.262	2.00	2.00	0.01

Htr: Altura de la boca del tubo a la referencia
 Hrs: Altura de la referencia al nivel del suelo.
 E.I: Estrato impermeable.

CUADRO 4
ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE DRENAJE
PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RESPECTO AL SUELO (a)
SECTOR: SAN LUIS

# DE FUZO	PROCELA	FECHA DE LECTURA												NUMERO DE DIAS:					
		13/10/92	3/11/92	16/11/92	2/12/92	15/12/92	4/1/93	2/2/93	16/2/93	2/3/93	16/3/93	30/3/93	13/4/93		19/4/93	27/4/93	11/5/93	27/5/93	8/6/93
CH-12-1	Franklin Campos	0.00	0.05	1.35	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	0.56	0.70	0.65	0.99	0.67	0.86	0.67	
CH-12-2	Benjamin Chaves	1.18	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	1.42	1.66	saco	saco	saco	saco	1.81	
CH-12-3	Tacsan-Hilo	0.16	0.25	0.77	saco	saco	nd	1.18	0.95	0.94	0.94	0.94	0.92	1.13	0.93	0.45	0.91	0.14	
CH-12-4	Carmelo Ordoñez	0.71	0.73	1.00	saco	saco	saco	saco	saco	saco	1.38	1.38	0.56	0.89	0.43	0.42	0.89	0.33	
CH-12-5	Isaabel Pereira	0.27	0.26	0.45	saco	saco	saco	0.43	0.28	0.31	0.43	0.34	0.33	0.40	0.39	0.41	0.68	0.71	
CH-12-6	Hilo-Casa	0.39	0.50	1.00	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	1.74	saco	1.53	1.63	saco	1.35	
CH-12-7	Gonzalo Arguello	0.12	0.13	0.65	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	0.80	
CH-12-8	Casa Zenara	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	
CH-12-9	Carlos Bravo 2	0.17	0.40	0.70	saco	saco	saco	1.24	1.45	1.33	1.41	1.50	1.32	1.46	1.15	0.90	0.80	1.23	
CH-12-10	Miguel Delgado	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	
CH-12-11	Patronilla Rodriguez	0.00	0.90	1.02	saco	saco	saco	1.18	1.45	1.65	1.17	1.12	0.90	1.00	0.77	0.67	0.97	0.68	
CH-12-12	Ricardo Arca	0.56	0.01	1.60	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	0.72	0.64	0.80	0.56	
CH-12-10-1-23	Erick Bastos 1	1.42	saco	1.90	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	1.81	1.74	1.69	saco	saco	
CH-12-10-1-24	Marco T. Ajun	0.35	0.79	0.90	saco	saco	saco	1.40	saco	saco	1.86	0.81	0.90	0.96	0.65	0.59	0.88	0.52	
CH-12-10-1-25	Eduardo Bastos	0.43	0.56	0.70	saco	saco	saco	1.35	saco	saco	1.01	0.50	0.53	0.32	0.43	0.43	0.57	0.37	
CH-12-10-1-26	Juan M. Sanchez	0.45	1.12	1.30	saco	saco	saco	saco	0.64	0.71	0.40	0.95	0.17	0.50	0.42	0.50	0.82	0.22	
CH-12-13	Luz M. Rodriguez	0.15	0.47	0.62	saco	saco	saco	saco	saco	saco	1.57	1.26	1.36	1.36	1.17	0.92	1.04	0.40	
CH-12-14	Paul Barahona	1.17	0.62	1.33	saco	saco	saco	1.76	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	1.12	
CH-12-15	Luis Rodriguez	0.05	1.01	1.00	saco	saco	saco	1.18	1.30	1.12	0.91	1.10	1.20	nd	1.16	1.23	1.74	nd	
CH-12-16	Simon Gonzales	0.20	0.07	1.05	saco	saco	saco	0.22	0.68	0.30	0.21	0.45	0.09	1.21	1.10	0.93	1.10	0.33	
CH-12-17	Abias Rojas	0.43	0.56	0.91	saco	saco	saco	1.03	1.30	1.51	saco	saco	saco	1.50	1.43	1.35	1.46	0.65	
CH-12-18	Severo Villarreal	0.63	0.90	1.13	saco	saco	saco	1.37	1.63	1.44	1.44	1.29	0.80	1.13	1.00	1.02	1.30	0.37	
CH-12-19	Antonio Ulate	0.67	0.63	0.62	saco	saco	saco	1.47	1.30	1.45	1.04	1.20	0.99	1.34	1.06	1.06	nd	nd	
CH-12-20	Carlos Bravo 1	1.02	1.43	1.56	saco	saco	saco	saco	1.81	1.75	1.46	1.69	1.66	1.77	1.77	saco	saco	1.70	
CH-12-21	Orelino Lopez	1.57	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	
CH-12-22	Tacsan	1.45	1.45	1.20	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	saco	1.71
	NUMERO DE DIAS:	0	21	34	50	63	83	111	125	139	153	167	181	187	195	225	237	251	251

CUADRO 4c
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 ELEVACION DEL NIVEL FREATICO (m.s.n.m.)
 SECTOR: SAN LUIS

# DE POZO	PARCELA	FECHA DE LECTURA												NUMERO DE BIRAS:					
		13/10/92	31/11/92	16/11/92	2/12/92	15/12/92	4/1/93	2/2/93	16/2/93	2/03/93	16/03/93	30/3/93	13/04/93		19/04/93	27/04/93	11/05/93	27/05/93	08/06/93
1-12-1	Franklin Campos	56.98	56.13	55.63		sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	56.28	56.42	56.28	56.33	55.99	56.31	56.12	56.31
1-12-2	Benjamin Chaves	54.42	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	54.41	54.94	53.18	53.94	53.94	54.18	53.18	sec0	sec0	sec0	sec0	53.79
1-12-3	Taxsan-Hilo	42.95	42.86	42.34	42.63	42.12	41.72	42.01	42.41	42.17	42.19	42.17	42.17	42.17	41.98	42.18	42.66	42.28	42.97
1-12-4	Carmelo Ordoñez	38.73	38.71	38.44	38.41	38.13	38.13	sec0	sec0	38.41	38.88	38.41	38.86	38.41	38.55	39.81	39.82	38.55	39.11
1-12-5	Isaabel Pereira	51.48	51.41	51.22	50.83	50.50	50.50	51.24	51.36	50.96	51.34	51.24	51.33	51.24	51.27	51.28	51.26	51.87	50.96
1-12-6	Nilo-Casa	48.31	48.12	39.78	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	38.96	38.96	sec0	sec0	sec0	39.15	39.87	sec0	39.15
1-12-7	Gonzalo Arguello	35.56	35.55	35.83	35.83	34.45	34.26	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	35.62
1-12-8	Casa Senara	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0
1-12-9	Carlos Bravo 2	32.81	32.58	32.28	32.51	32.28	31.74	31.68	31.63	31.57	31.66	31.48	31.48	31.57	31.52	31.83	32.88	32.18	31.74
1-12-10	Miguel Delgado	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0
1-12-11	Petronila Rodriguez	21.94	21.84	21.72	21.89	21.75	21.64	sec0	21.89	21.27	21.84	21.84	21.62	21.27	21.74	21.97	22.87	21.77	22.86
1-12-12	Ricardo Arce	28.78	28.45	19.66	28.31	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	28.54	28.62	28.38	28.78
1-10-10-1-23	Erick Bastos 1	18.88	sec0	18.48	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	18.49	18.49	sec0	sec0	18.51	18.56	18.61	sec0	sec0
1-10-10-1-24	Narco T. Ajón	17.79	17.35	17.24	17.51	17.84	16.74	sec0	16.71	17.88	17.24	17.33	17.33	17.24	17.18	17.49	17.55	17.26	17.62
1-10-10-1-25	Eduardo Bastos	15.35	15.22	15.88	15.28	15.88	14.43	sec0	14.98	14.77	15.25	15.28	15.28	15.25	15.46	15.35	15.35	15.21	15.41
1-10-10-1-26	Juan H. Sánchez	17.19	16.52	16.34	16.32	sec0	sec0	17.88	16.88	17.11	16.78	16.78	17.42	17.15	17.22	17.86	16.82	17.42	17.42
1-12-13	Luz M. Rodriguez	19.89	18.77	18.62	18.79	18.39	18.85	sec0	sec0	17.66	17.87	17.97	17.97	17.87	17.87	18.86	18.31	18.19	18.83
1-12-14	Raul Barahona	19.97	28.52	19.81	19.68	19.48	19.38	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	28.82
1-12-15	Luis Rodriguez	16.89	16.73	16.74	16.72	16.72	16.56	16.44	16.67	16.87	16.98	16.68	16.68	16.98	nd	16.98	16.51	16.98	nd
1-12-16	Simon Escobales	23.28	22.61	22.43	22.54	22.94	23.26	22.88	22.84	23.27	22.99	23.83	23.83	22.99	22.27	22.38	22.55	22.38	23.15
1-12-17	Midas Rojas	27.19	27.86	26.68	26.68	26.27	26.59	26.24	26.53	26.27	26.28	26.85	26.85	26.27	26.85	26.19	26.27	26.16	26.97
1-12-18	Severo Villarreal	29.45	29.18	28.95	29.85	28.96	28.71	28.75	28.64	28.64	28.28	28.79	28.79	28.64	28.95	29.88	29.86	28.78	29.71
1-12-19	Antonio Ulate	35.19	35.23	35.24	34.94	34.74	34.39	34.56	34.94	34.82	34.66	34.87	34.66	34.82	34.52	34.88	34.88	nd	nd
1-12-20	Carlos Bravo 1	48.84	39.63	39.58	39.48	39.18	39.48	39.31	39.43	39.68	39.48	39.37	39.37	39.48	39.29	39.29	sec0	sec0	39.36
1-12-21	Ovello López	42.32	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0
1-12-22	Taxsan	44.84	44.84	44.21	44.23	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	sec0	43.75
		0	21	34	58	63	83	111	125	139	153	167	181	187	195	209	225	237	251

CUADRO 5a
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 REGISTRO DE POZOS DE OBSERVACION DE NIVELES FREATICOS
 SECTOR: ESTACION EXPERIMENTAL ENRIQUE JIMENEZ NUÑEZ

# DE POZO	PARCELA	ELEV REF (asna)	Htr (m)	Hrs (m)	COORDENADAS		DATOS DEL POZO		
					Y	X	Prof. Poz (m)	Prof. E. (m)	K (m/día)
1	TALLER	7.794	0.13	0.01	256671.651	410033.972	2.20	> 2.20	6.680
2	ASEGEN	7.484	0.18	0.03	253560.040	410155.587	2.20	> 2.20	8.890
3	MIRENEM	7.172	0.13	0.01	254762.390	410101.365	2.18	> 2.18	4.724
4	METEOROLOGICO	10.164	0.03	0.01	256652.816	410612.426	2.10	> 2.10	6.670
5	INVESTIGACION	8.669	0.20	0.01	256874.054	410437.078	2.15	> 2.15	8.990
6	COCOS	8.598	0.11	0.01	256373.701	410208.864	2.10	> 2.10	11.770
7	PALMA ACEITERA	7.948	0.16	0.01	253158.446	410295.865	2.10	> 2.10	20.190
8	MANGOS	9.034	0.14	0.01	253872.600	410436.300	2.20	> 2.20	9.230
9	GANADERIA	8.764	0.31	0.01	256953.183	410703.441	2.20	> 2.20	6.190

Htr: Altura de la boca del tubo a la referencia.

Hrs: Altura de la referencia al nivel del suelo.

E.I: Estrato impermeable

CUADRO 5b
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RESPECTO AL SUELO (m)
 SECTOR: ESTACION EXPERIMENTAL ENRIQUE JIMENEZ NUÑEZ

# DE POZO	PARCELA	FECHA DE LECTURA									
		4/03/93	17/03/93	31/03/93	15/04/93	28/04/93	12/05/93	25/5/93	9/06/93	22/06/93	
1	TALLER	1.37	1.14	1.08	1.34	1.36	1.02	0.46	1.31	0.51	
2	ASEGEN	0.66	0.84	0.82	0.86	1.09	0.98	0.09	0.38	0.55	
3	MIRENEM	0.99	1.25	1.37	1.39	1.42	1.37	0.76	1.41	0.23	
4	METEOROLOGICO	1.00	0.81	1.02	1.25	1.28	1.39	0.39	1.24	0.44	
5	INVESTIGACION	1.09	1.26	1.27	1.22	1.17	1.22	0.54	1.04	0.32	
6	COCOS	1.27	1.11	0.91	1.15	1.05	1.22	-0.02	1.33	0.76	
7	PALMA ACEITERA	0.68	1.30	1.62	1.38	1.57	1.34	1.04	1.53	0.69	
8	MANGOS	1.13	1.18	1.29	1.31	1.46	1.44	0.73	1.36	0.57	
9	GANADERIA	1.00	0.81	1.02	1.25	1.28	1.39	0.39	1.24	0.44	
	NUMERO DE DIAS:	0	13	27	42	55	69	82	97	110	

CUADRO 5:
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 ELEVACION DEL NIVEL FREATICO RESPECTO AL NIVEL DEL MAR (m.s.n.m.)
 SECTOR: ESTACION EXPERIMENTAL ENRIQUE JIMENEZ NUÑEZ

# DE POZO	PARCELA	FECHA DE LECTURA									
		4/03/93	17/03/93	31/03/93	15/04/93	28/04/93	12/05/93	25/5/93	9/06/93	22/06/93	
1	TALLER	6.41	6.64	6.70	6.44	6.42	6.76	7.32	6.47	7.27	
2	ASEGEN	6.79	6.61	6.63	6.59	6.35	6.47	7.36	6.47	6.98	
3	MIRENEN	6.18	5.92	5.88	5.78	5.75	5.80	5.41	5.76	6.94	
4	METEOROLOGICO	9.15	9.34	9.13	8.90	8.87	8.76	9.76	8.91	9.71	
5	INVESTIGACION	7.57	7.40	7.39	7.44	7.49	7.44	8.12	7.62	8.34	
6	COCOS	7.32	7.48	7.68	7.44	7.54	7.37	8.61	7.26	7.83	
7	PALMA ACEITERA	7.25	6.63	6.31	6.55	5.36	6.59	6.89	6.48	7.24	
8	MANGOS	7.98	7.85	7.74	7.72	7.57	7.59	8.08	7.67	8.35	
9	GANADERIA	7.43	7.16	7.22	7.33	7.37	7.41	7.99	7.76	8.68	
	NUMERO DE DIAS:	8	13	27	42	55	69	82	97	118	

CUADRO 6a
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE OPELAJE
 REGISTRO DE POZOS DE OBSERVACION DE NIVELES FREATICOS
 SECTOR: TABORA

# DE POZO	ELEV REF (asno)	Htr (m)	Hrs (m)	COORDENADAS		DATOS DEL POZO		
				Y	X	Prof. Pozo (a)	Prof. E.I. (a)	K (m/dia)
1	5.508	0.21	0.01	1259807.800	484063.063	1.25	**	0.168
2	5.185	0.27	0.03	1259162.106	485823.399	1.25	0.58	0.017
3	4.225	0.17	0.01	1258839.587	485217.272	1.80	**	0.114
4	2.285	0.17	0.01	1258211.332	483388.772	1.25	0.88	1.236
5	3.310	0.16	0.01	1259385.623	486472.387	1.25	0.58	3.282
6	5.265	0.10	0.01	1269190.022	485533.627	1.25	**	18.869
7	6.333	0.12	0.01	1258282.251	486319.458	1.65	1.22	5.337
8	6.333	0.12	0.01	1259338.223	487046.319	1.45	0.75	0.651
9	4.338	0.08	0.01	1257667.828	487015.268	1.78	0.58	7.573
10	5.188	0.13	0.01	1257767.242	487316.178	1.25	0.75	3.333
11	5.868	0.15	0.01	1258536.568	487753.587	1.75	0.55	0.084
12	8.438	0.21	0.01	1260175.748	487312.844	1.25	0.75	0.831
13	6.847	0.22	0.08	1260993.454	489331.293	1.25	0.58	0.433
14	18.765	0.19	0.08	1260756.485	488873.687	1.25	0.58	0.493
15	7.785	0.21	0.01	1259788.377	488438.483	1.25	0.55	2.862
16	9.895	0.25	0.01	1260135.347	485341.737	1.25	0.58	0.246
17	9.225	0.28	0.01	1259767.119	489354.624	1.28	**	38.224
18	8.863	0.24	0.01	1259685.697	488394.535	1.25	0.35	0.193
19	18.587	0.17	0.01	1258782.321	489854.658	1.25	**	0.383
20	8.675	0.17	0.01	1259227.058	488362.737	1.25	**	4.864
21	13.538	0.11	0.08	1260634.413	489918.441	1.25	**	12.387
22	13.532	0.16	0.08	1260373.821	411234.683	1.25	0.28	0.531
26	7.225	0.82	0.02	1261814.271	487844.348	1.25	0.58	0.166
27	8.781	0.18	0.01	1261679.688	487817.688	1.25	0.58	0.009
29	14.538	0.17	0.08	1261173.322	489631.863	1.81	0.58	0.193
31	16.328	0.14	0.08	1261672.398	411582.385	1.25	0.25	0.336
32	24.248	0.12	0.08	1262788.256	412292.913	1.25	0.58	0.061
33	22.535	0.31	0.01	1262824.339	411125.951	1.75	0.58	0.821
34	18.585	0.29	0.01	1262587.782	489985.361	1.25	0.48	0.081
35	13.115	0.28	0.01	1262336.848	488634.481	1.25	0.53	0.039
36	7.895	0.25	0.01	1262757.597	487565.783	1.75	0.58	0.656
37	12.365	0.28	0.01	1263873.489	489768.749	1.75	0.58	6.875
38	15.465	0.18	0.01	1262322.388	489328.357	1.25	0.58	0.655
39	21.115	0.17	0.01	1262374.387	410439.732	1.71	0.58	0.367
41	23.788	0.21	0.01	1264611.745	411372.343	1.25	**	0.858
42	25.878	0.24	0.02	1263314.746	411342.394	1.25	0.22	0.283
43	5.185	0.06	0.28	1257318.888	487378.888	1.28	**	5.338
44	6.488	0.07	0.18	1257438.888	487338.888	1.25	**	0.718
45	3.886	0.08	0.18	1256388.888	488418.888	2.00	1.73	3.335
46	6.888	0.13	0.18	1257688.888	488388.888	2.00	**	22.838
47	8.243	0.16	0.08	1258248.888	483588.888	1.27	**	14.798
48	2.562	0.11	0.12	1255738.888	488668.888	2.00	**	3.274
49	3.423	0.13	0.12	1255328.888	488558.888	1.29	**	19.553
50	6.834	0.12	0.17	1257128.888	489658.888	2.00	**	18.368
51	3.674	0.07	0.13	1255338.888	489868.888	2.00	**	7.578
52	5.246	0.16	0.08	1256138.888	489638.888	1.28	**	26.848
53	5.225	0.07	0.12	1254338.888	488818.888	1.78	1.57	15.898
54	6.585	0.08	0.12	1253148.888	410358.888	2.00	**	5.319
55	4.535	0.17	0.12	1254838.888	410768.888	2.00	**	18.188
56	5.335	0.09	0.12	1253138.888	411668.888	2.00	**	18.338
57	5.751	0.06	0.13	1254428.888	412868.888	2.00	**	1.302
58	6.483	0.05	0.11	1252388.888	412378.888	2.00	**	6.158
59	8.179	0.07	0.13	1253138.888	412488.888	2.00	**	1.976
60	8.819	0.09	0.14	1254268.888	412948.888	2.00	**	0.863

Htr: Altura de la referencia a la boca del tubo.

Hrs: Altura de la referencia al nivel del suelo.

** : Estrato impermeable no localizado a la profundidad del pozo.

CUADRO 6b
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO CON RESPECTO AL SUELO (a)
 SECTOR: TABORA

N° DE POZO	FECHA DE LECTURA					
	14/04/93	28/04/93	12/05/93	26/05/93	11/06/93	23/06/93
1	seco	seco	seco	seco	seco	seco
2	1.23	0.76	0.18	0.36	1.24	0.97
3	1.68	1.33	0.86	1.08	1.25	0.75
4	-0.88	0.78	0.16	0.15	0.72	-0.43
5	0.81	1.02	0.28	0.88	0.78	0.99
6	seco	1.22	seco	seco	seco	2.08
7	0.35	0.85	0.36	0.61	0.79	0.26
8	1.02	0.58	0.68	0.77	1.05	0.38
9	0.94	0.81	0.62	0.48	0.93	0.43
10	1.06	0.86	1.18	0.85	0.96	0.78
11	seco	seco	seco	1.67	1.66	0.23
12	0.98	0.73	0.68	0.83	1.08	0.31
13	1.35	1.48	1.32	seco	seco	0.57
14	0.82	1.16	0.47	0.12	0.72	0.81
15	0.41	0.21	0.65	0.59	0.91	0.41
16	seco	1.39	0.32	0.48	0.98	0.12
17	1.28	0.48	0.99	1.03	1.29	0.39
18	1.43	0.87	1.17	0.93	1.17	0.13
19	seco	seco	seco	seco	seco	seco
20	0.81	0.81	0.83	0.75	1.17	0.73
22	1.88	1.17	0.84	0.88	1.88	0.43
23	0.99	0.92	0.61	0.54	1.06	0.37
26	seco	1.46	0.22	1.08	0.99	0.88
27	1.46	1.31	0.85	0.27	0.48	-0.89
29	0.92	0.88	0.64	0.77	0.73	0.16
31	-0.14	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12
32	1.01	0.48	0.28	0.38	0.65	0.16
33	seco	seco	1.24	0.19	1.53	1.01
34	1.54	1.38	0.83	0.78	1.25	0.28
35	0.23	0.27	0.23	0.22	0.68	0.25
36	seco	seco	seco	seco	seco	1.59
37	1.64	seco	seco	seco	1.55	seco
38	1.24	1.25	0.91	0.96	1.11	0.74
39	1.33	1.41	0.79	0.34	0.95	0.12
41	seco	seco	seco	seco	seco	nd
42	seco	seco	seco	1.56	seco	nd
43	1.08	1.34	1.28	1.16	1.23	1.02
44	1.29	1.17	1.06	0.93	0.96	1.13
45	0.58	0.13	0.33	0.28	0.12	0.18
46	1.56	1.13	1.32	1.11	1.23	1.07
47	nd	nd	nd	nd	nd	nd
48	0.89	0.84	0.74	-0.84	-0.85	0.84
49	0.44	0.28	0.25	-0.18	0.81	-0.81
50	0.97	1.21	0.29	0.26	0.41	0.19
51	0.83	1.08	0.95	0.95	0.62	0.18
52	seco	1.52	0.52	0.32	0.38	0.51
53	seco	seco	nd	nd	nd	nd
54	seco	seco	seco	seco	seco	1.59
55	seco	0.76	0.99	0.23	0.57	0.78
56	seco	seco	seco	1.64	seco	0.94
57	seco	seco	seco	seco	seco	seco
58	seco	seco	seco	seco	seco	0.49
59	seco	seco	seco	seco	seco	seco
60	seco	seco	seco	1.73	seco	1.23
NUMERO DE DIAS:	8	14	28	42	56	78

CUADRO 6:
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 ELEVACION DEL NIVEL FREATICO RESPECTO AL NIVEL DEL MAR (m.s.n.m.)
 SECTOR: TABORA

# DE POZO	FECHA DE LECTURA					
	14/04/93	28/04/93	12/05/93	26/05/93	11/06/93	23/06/93
1	seco	seco	seco	seco	seco	seco
2	3.95	4.43	5.81	4.83	3.93	3.12
3	2.35	2.98	3.37	3.23	2.98	3.48
4	2.35	1.38	2.12	2.13	1.35	2.71
5	2.48	2.28	3.18	3.22	2.68	3.21
6	seco	4.75	seco	seco	seco	3.18
7	6.38	6.88	6.57	6.32	6.14	6.67
8	5.31	5.83	5.85	5.95	5.28	5.93
9	3.38	3.31	3.78	3.92	3.39	3.89
10	4.11	4.31	3.99	4.32	4.21	4.39
11	seco	seco	seco	4.18	4.19	5.62
12	7.38	7.73	7.89	7.85	7.48	8.17
13	4.58	4.57	4.53	seco	seco	5.48
14	18.75	9.61	18.38	18.85	18.85	18.75
15	7.35	7.35	7.12	7.18	6.85	7.35
16	seco	7.78	8.77	8.89	8.11	8.97
17	8.88	8.88	8.34	8.28	7.98	8.84
18	7.42	7.38	7.88	7.92	7.68	8.72
19	seco	seco	seco	seco	seco	seco
20	7.87	7.87	7.85	7.93	7.51	7.95
22	12.45	12.35	12.89	12.93	12.53	13.18
23	12.54	12.61	12.92	12.99	12.47	13.16
25	seco	5.75	7.88	6.22	6.23	7.14
27	7.23	7.38	8.64	8.42	8.21	8.78
29	13.43	13.47	13.71	13.58	13.62	14.19
31	17.87	17.85	17.85	17.85	17.85	17.85
32	23.23	23.84	24.84	23.94	23.59	24.83
33	seco	seco	21.15	22.28	28.85	21.38
34	16.84	17.88	17.35	17.68	17.13	18.18
35	12.88	12.84	12.88	12.89	12.43	12.85
36	seco	seco	seco	seco	seco	6.38
37	18.72	seco	seco	seco	18.81	seco
38	14.22	14.21	14.35	14.38	14.35	14.72
39	19.38	19.78	28.32	28.77	28.16	28.99
41	seco	seco	seco	seco	seco	nd
42	seco	seco	seco	24.29	seco	nd
43	3.83	3.57	3.71	3.75	3.68	3.89
44	4.33	5.85	5.16	5.29	5.25	5.89
45	2.33	2.78	2.35	2.63	2.71	2.63
46	5.14	5.57	5.35	5.59	5.47	5.63
47	nd	nd	nd	nd	8.22	nd
48	1.35	1.68	1.78	2.48	2.41	2.48
49	2.85	3.82	3.85	3.48	2.85	3.31
50	4.89	4.63	5.57	5.68	5.33	5.67
51	2.71	2.54	2.99	2.99	ERR	3.44
52	seco	3.63	4.63	4.85	4.87	4.65
53	seco	seco	nd	nd	nd	nd
54	seco	seco	seco	seco	seco	4.88
55	seco	3.65	3.43	4.19	3.85	3.72
56	seco	seco	seco	3.63	seco	4.34
57	seco	seco	seco	seco	seco	seco
58	seco	seco	seco	seco	seco	5.88
59	seco	seco	seco	seco	seco	seco
60	seco	seco	seco	6.15	seco	6.63
NUMERO DE DIAS:	8	14	28	42	56	78

CUADRO 7a
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 REGISTRO DE POZOS DE OBSERVACION DEL NIVEL FREATICO
 SECTOR: CO-1 (LA PACIFICA-DAISA)

# DE POZO	ELEV REF (asnm)	Htr (m)	Hrs (m)	COORDENADAS		DATOS DEL POZO		
				Y	X	Prof. Pozo (m)	Prof. E.I (m)	K (m/día)
IP-LP-CO1-F-1	34.966	0.24	0.01	271710.768	412193.519	1.45	> 1.45	0.416
IP-LP-CO1-F-2	45.728	0.19	0.02	271546.119	413062.079	1.95	1.40	0.083
IP-LP-CO1-F-3	42.263	0.15	0.01	272750.408	411213.524	1.95	> 1.95	3.264
IP-LP-CO1-F-4	42.053	0.16	0.03	272962.020	410223.390	1.95	0.00	0.303
IP-LP-CO1-F-5	45.811	0.15	0.03	274505.927	409177.982	1.70	> 1.70	0.094
IP-LP-CO1-F-6	51.186	0.23	0.03	274992.191	409362.164	1.75	> 1.75	3.570
IP-LP-CO1-F-7	47.782	0.00	0.00	274382.439	410210.109	1.75	> 1.75	1.837
IP-LP-CO1-F-8	43.648	0.17	0.02	272833.919	409339.668	1.90	> 1.90	2.440
IP-LP-CO1-F-9	37.690	0.17	0.02	272337.848	410225.916	1.75	> 1.75	0.030
IP-LP-CO1-F-10	34.237	0.30	0.01	271520.425	411081.508	1.46	0.40	0.035
IP-LP-CO1-D-11	34.237	0.31	0.01	270301.369	411272.393	1.40	> 1.40	1.042
IP-LP-CO1-D-12	29.145	0.20	0.03	269783.355	410339.749	1.00	> 1.00	2.043
IP-LP-CO1-D-13	30.688	0.12	0.03	270440.565	409677.791	1.75	> 1.75	2.979
IP-LP-CO1-D-14	26.165	0.14	0.01	268968.933	410066.198	1.95	> 1.95	1.563
IP-LP-CO1-D-15	32.492	0.14	0.01	271090.022	409297.444	1.75	> 1.75	0.167
IP-LP-CO1-D-16	35.000	0.18	0.01	271546.208	409893.985	1.25	> 1.25	0.720

Htr: Altura de la boca del tubo a la referencia.
 Hrs: Altura de la referencia al nivel del suelo.
 E.I: Estrato impermeable.

CUADRO 7b
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO CON RESPECTO AL SUELO (m)
 SECTOR: CO-1 (LA PACÍFICA-DAISA)

# DE POZO	FECHA DE LECTURA							
	11/03/93	1/04/93	13/04/93	27/04/93	11/05/93	26/05/93	8/06/93	22/06/93
:P-LP-CO1-F-1	0.55	0.97	seco	seco	seco	seco	seco	seco
:P-LP-CO1-F-2	1.01	0.74	0.82	1.66	seco	seco	seco	0.49
:P-LP-CO1-F-3	0.44	nd	seco	seco	seco	seco	seco	0.11
:P-LP-CO1-F-4	0.80	1.02	seco	1.67	1.52	0.16	1.51	0.55
:P-LP-CO1-F-5	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
:P-LP-CO1-F-6	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
:P-LP-CO1-F-7	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
:P-LP-CO1-F-8	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
:P-LP-CO1-F-9	0.53	0.23	0.66	0.79	0.21	0.90	1.22	0.74
:P-LP-CO1-F-10	0.34	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
:P-LP-CO1-D-11	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
:P-LP-CO1-D-12	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
:P-LP-CO1-D-13	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
:P-LP-CO1-D-14	seco	seco	seco	nd	seco	seco	seco	seco
:P-LP-CO1-D-15	seco	seco	seco	nd	seco	nd	seco	seco
:P-LP-CO1-D-16	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
:NUMERO DE DIAS:	0	20	32	46	61	76	89	103

CUADRO 7c
ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
ELEVACION DEL NIVEL FREATICO RESPECTO AL NIVEL DEL MAR (m.s.n.m.)
SECTOR: CO-1 (LA PACIFICA-DAISA)

# DE POZO	FECHA DE LECTURA							
	11/03/93	1/04/93	13/04/93	27/04/93	11/05/93	26/05/93	8/06/93	22/06/93
P-LP-CO1-F-1	34.41	33.99	seco	seco	seco	seco	seco	seco
P-LP-CO1-F-2	44.78	44.97	44.89	44.85	seco	seco	seco	45.22
P-LP-CO1-F-3	41.82	nd	seco	seco	seco	seco	seco	42.15
P-LP-CO1-F-4	41.23	41.81	seco	48.36	48.51	41.87	48.52	41.48
P-LP-CO1-F-5	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
P-LP-CO1-F-6	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
P-LP-CO1-F-7	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
P-LP-CO1-F-8	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
P-LP-CO1-F-9	37.14	37.44	37.81	36.88	37.46	36.77	36.45	36.93
P-LP-CO1-F-10	33.89	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
P-LP-CO1-D-11	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
P-LP-CO1-D-12	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
P-LP-CO1-D-13	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
P-LP-CO1-D-14	seco	seco	seco	nd	seco	seco	seco	seco
P-LP-CO1-D-15	seco	seco	seco	nd	seco	nd	seco	seco
P-LP-CO1-D-16	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
NUMERO DE DIAS:	0	20	32	46	61	76	89	103

CUADRO 8a
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 REGISTRO DE POZOS DE OBSERVACION DE NIVELES FREATICOS
 SECTOR: PASO HONDO

# DE POZO	ELEV REF (asna)	Htr (m)	Hrs. (m)	COORDENADAS		DATOS DEL POZO		
				Y	X	Prof. Pozo	Prof. E.I.	K (m/día)
ICN-PH-1	53.10	0.16	0.01	266106.820	414602.430	1.60	1.60	0.014
ICN-PH-2	40.43	0.15	0.00	264467.350	414487.960	1.75	1.15	3.130
ICN-PH-3	38.19	0.20	0.01	264029.130	414025.640	1.95	0.50	0.004
ICN-PH-4	30.81	0.20	0.02	263398.690	413147.550	1.95	0.50	0.053
ICN-PH-5	29.17	0.17	0.05	262721.840	413643.570	1.80	0.70	0.027
ICN-PH-7	28.59	0.23	0.01	263558.250	412965.360	1.75	1.30	0.010
ICN-PH-8	32.78	0.19	0.01	264198.220	412872.060	1.75	1.15	0.032
ICN-PH-9	41.27	0.17	0.02	264799.030	413903.170	1.75	1.40	0.063
ICN-PH-10	42.48	0.19	0.00	265513.760	413784.660	0.95	0.95	0.239
ICN-PH-11	32.64	0.27	0.01	266497.450	413362.160	1.65	0.55	0.098
ICN-PH-12	29.81	0.13	0.02	265397.260	412421.630	1.60	0.40	0.486
ICN-PH-13	26.71	0.20	0.01	264597.710	412136.750	1.95	0.50	0.064
ICN-PH-14	24.91	0.12	0.04	265238.110	411381.850	1.95	0.40	0.130
ICN-PH-15	24.97	0.17	0.02	265894.100	411995.000	1.50	0.30	0.133
ICN-PH-16	36.43	0.17	0.01	266118.220	412806.760	1.65	0.45	0.048
ICN-PH-17	21.49	0.25	0.01	266235.570	411269.980	1.60	1.60	0.018
ICN-PH-18	20.03	0.12	0.01	265987.160	410475.890	1.95	0.50	2.534
ICN-PH-19	21.51	0.03	0.02	265010.210	410444.140	1.95	1.95	5.772
ICN-PH-20	19.07	0.19	0.02	264027.200	410302.060	1.75	0.35	0.324
ICN-PH-21	17.91	0.17	0.01	265704.680	409700.650	1.95	0.90	0.165
ICN-PH-22	15.85	0.19	0.02	264866.540	409347.480	1.75	0.50	0.716
ICN-PH-23	28.65	0.24	0.01	266930.972	411458.361	1.70	1.70	0.002
ICN-PH-24	15.62	0.14	0.01	263460.680	409468.170	1.95	0.90	0.039
ICN-PH-25	14.05	0.20	0.01	264306.700	409096.710	1.75	1.60	0.070
ICN-PH-26	9.01	0.20	0.02	264252.870	408011.320	1.95	0.50	0.032
ICN-PH-27	43.39	0.23	0.01	267637.101	413270.267	1.40	1.40	0.012
ICN-PH-28	30.99	0.21	0.02	267496.258	411992.723	1.30	1.30	0.016
ICN-PH-29	9.36	0.17	0.04	263445.520	407448.940	1.70	1.35	0.120
ICN-PH-30	20.62	0.27	0.01	266919.878	410425.855	1.50	1.50	0.018
ICN-PH-31	19.30	0.19	0.01	266668.690	409808.020	1.75	1.75	0.024
ICN-PH-32	15.60	0.26	0.02	265898.080	408821.210	1.75	1.75	0.103
ICN-PH-33	13.35	0.22	0.01	265153.230	408079.520	1.75	1.75	2.255
ICN-PH-34	20.69	0.19	0.02	267644.689	409576.655	1.75	1.75	0.007
ICN-PH-35	23.34	0.20	0.01	268157.938	410468.429	1.75	1.75	0.120
ICN-PH-36	27.12	0.14	0.02	267981.675	411389.824	1.75	1.75	2.758
ICN-PH-37	40.70	0.16	0.02	268767.550	413070.330	1.75	1.75	0.079
ICN-PH-38	52.36	0.20	0.01	269274.629	413764.153	1.50	1.50	0.303
ICN-PH-39	42.60	0.14	0.06	270156.390	413585.420	1.80	1.80	0.028
ICN-PH-40	38.31	0.19	0.01	269735.445	412481.261	1.70	1.70	13.474
ICN-PH-41	38.11	0.17	0.02	268727.083	412113.177	1.75	1.75	0.820
ICN-PH-42	27.04	0.22	0.01	268741.500	411221.676	1.60	1.60	0.114
ICN-PH-43	37.03	0.20	0.02	270112.343	411618.263	1.80	1.80	1.647
ICN-PH-44	30.93	0.09	0.01	269666.513	412193.777	1.65	1.65	0.119
ICN-PH-45	42.18	0.21	0.01	270700.560	413253.190	1.75	1.75	0.567

Htr: Altura de la boca del tubo a la referencia.

Hrs: Altura de la referencia al nivel del suelo.

E.I: Estrato impermeable

CUADRO 9
 ESTUDIO DE NECESIDADES DE DRENAJE
 LOCALIZACION DE ESCALAS Y PIEZOMETROS
 SECTOR: SAN LUIS

ESCALAS:	Elev. (m.s.n.m)	X (m)	Y (m)
Río Cañas 1	63.63	266385.72	416428.45
Salitral 1	44.44	264518.26	415507.46
Salitral 2	29.25	262613.73	414621.00
Río Cañas 2	26.83	262302.86	414260.90
Río Cañas 3	17.94	261892.09	412610.36
Salitral 3	15.71	260520.90	413386.44
Jabilla 3	17.89	260411.85	413562.38
Desfogue CP-1	24.21	261351.32	414420.78
Jabilla 2	21.19	261060.32	414773.62
Jabilla 1	26.87	261602.00	416109.00

PIEZOMETROS:	PROF. PIEZOM.	Hsbt (m)
CN-P-12-1 FRANKLIN CAMPOS		
#1	0.30	0.145
#2	0.74	0.133
#3	1.04	0.104
#4	1.57	0.086
pozo observ.	1.90	0.064
CN-P-10-1-26 JUAN MANUEL SANCHEZ		
#1	0.29	0.148
#2	0.72	0.118
#3	1.59	0.084
pozo observ.	1.92	0.079
CN-P-12-13 LUZ M. RODRIGUEZ		
#1	0.47	0.063
#2	1.10	0.015
pozo observ.	1.74	0.256
CN-P-12-17 AHIAS ROJAS		
#1	1.20	0.067
#2	1.76	0.014
pozo observ.	1.79	0.210

Hsbt: Altura de la boca del tubo al nivel del suelo

CUADRO 10a
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN MMHOS/CM.
POZOS DOMESTICOS
SECTOR SAN LUIS

	JUNIO 1992	JULIO 1992	MAYO 1993
Petronila Rodríguez	0.72	0.72	0.65
Raúl Barahona	0.29		0.22
Emilio Zeledón	0.42		
BNCR	0.31		
Manuel Rodríguez	0.58		0.52
Israel Chavarría	0.50	0.68	0.51
Eduardo Bastos	0.62		
Faustino López	0.48		0.39
Roberto Campos	0.41		0.38
Ismael Pereira	0.70		
J.M. Sánchez	0.40		0.40
Eduardo Bastos	0.62	0.64	0.57
Marciano Cárdenas	0.36		0.32

CUADRO 10b
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, en mmhos/cm.
POZOS DOMESTICOS

SECTOR PASO HONDO

	JUNIO 92	JULIO 92	AGOSTO 92	MAYO 93
Alejandro Briceño	0.36			0.49
Luis Obando	0.38			0.21
Daniel Aguilera	0.33			0.30
Marcial Villegas	0.39			0.38
José A. Ulate B.	0.54			0.50
Luis Vásquez	0.50			0.36
José L. Cambronero	0.65	0.63		0.60
Humberto Gutiérrez	0.36			
Manuel Jiménez	0.21			
José Morera	0.29			0.33
Escuela Paso Hondo	0.90			0.82
Juan Heisson	0.34			0.34
Carlos Ulate	0.45			
Salvador Hernández	0.25			0.27
Alan Carballo	0.29			0.24
Rodolfo Downing	0.48			0.44
Benjamín Toruño	0.62	0.60		0.61
Investigaciones (EEEJN)	0.68	0.67		0.28
Maternidad (EEEJN)	0.51	0.52		0.48
San Juan (Taboga)	1.05	1.04		
Costasen (EEEJN)	0.48			
Frank Sirias (La Guaria)	0.39			
Finca Mojica (II Etapa)			0.33	
Tiquiscal No.2 (Taboga)				0.54

CUADRO 11
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN mmhos/cm.
POZOS DE OBSERVACION DEL MANTO FREATICO
SECTOR SAN LUIS

	NOV. 1992	MAR. 93 30-03-93	MAY. 93 27-05-93
1 Franklin Campos		0.26	0.31
2 Benjamín Chaves		0.22	
3 Tacsan Nilo	0.84	1.55	1.50
4 Carmelo Ordoñez	0.26	0.31	0.46
5 Ismael Pereira	0.23	0.23	0.21
6 Nilo Casa	0.35		0.58
7 Gonzalo Arguello	0.41		
8 Casa SENARA			
9 Carlos Bravo 2	1.37	1.44	1.70
10 Miguel Delgado			
11 Petronila Rodríguez	0.64	0.41	0.58
12 Ricardo Arce			0.30
13 Luz M. Rodríguez	0.72	0.66	0.51
14 Raúl Barahona	0.37		
15 Luis Rodríguez	1.48	1.96	0.56
16 Simón González	0.37	0.23	0.32
17 Ahias Rojas	0.60		0.60
18 Severo Villarreal	0.38	1.14	0.42
19 Antonio Ulate	0.32	0.34	
20 Carlos Bravo1	0.38	0.33	
21 Ovelio López			
22 Tacsan			
23 Erick Bastos1	0.52	0.24	0.27
24 Marco A. Ajún			0.34
25 Eduardo Bastos	0.50	0.32	0.37
26 J. M. Sánchez		0.48	0.43

CUADRO 12
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, EN mmhos/cm
POZOS DE OBSERVACION DEL MANTO FREATICO
SECTOR KEEJN

	31-03-93	25-05-93
1 Taller	0.94	0.71
2 Asegen	0.48	0.49
3 Mirenem	0.47	0.49
4 Meteorológico	0.69	0.23
5 Investigación	0.64	0.67
6 Cocos	0.55	0.46
7 Palma Aceitera	0.79	0.86
8 Mangos	0.46	0.53
9 Ganadería	0.81	0.71

CUADRO 13
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, en mmhos
POZOS DE OBSERVACION DEL MANTO FREATICO
SÉCTOR AMPLIACION PASO HONDO (TABOGA)

No. DEL POZO	NOV. 92	25-05-93	01-04-93
1	--		
2		0.52	7.12
3		0.27	
4 *		4.45	
5 *		1.72	
6		--	
7		0.19	0.19
8		0.56	
9		0.46	
10		0.37	
11 *		7.54	
12 *		1.54	
13		--	0.26
14		0.35	0.84
15		0.57	
16		0.32	
17		0.20	
18 *		2.00	
19		--	
20		0.48	
21		--	
22		0.60	0.59
23		0.55	0.63
24		--	1.88
25		--	
26		0.67	
27 *		3.46	
28		--	
29 *		1.42	
30		--	
31 *		1.02	0.99
32		0.73	1.40
33		0.38	
34		0.34	0.54
35		0.60	0.73
36		--	
37		--	
38 *		2.48	1.92
39 *		0.42	2.05

CUADRO 13 (CONTINUACION)

No. DEL POZO	NOV. 92	25-05-93	01-04-93
40		--	
41		--	
42 *		1.02	
43	0.56	0.43	
44	0.35	0.34	0.34
45 *	12.52	8.18	11.98
46	0.42	0.27	0.33
47	0.37		
48*	9.38	11.76	9.55
49	0.96	0.87	0.48
50	0.68	0.29	0.53
51	1.08	0.29	1.00
52	0.59	0.44	
53	0.41	--	
54	0.65	--	
55	1.45	0.71	
56	0.73	--	
57		--	
58	0.30	--	
59		--	
60	0.21	--	

CUADRO 14
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, en mmhos/cm.
POZOS DE OBSERVACION DEL MANTO FREATICO
SECTOR CO 1. LA PACIFICA

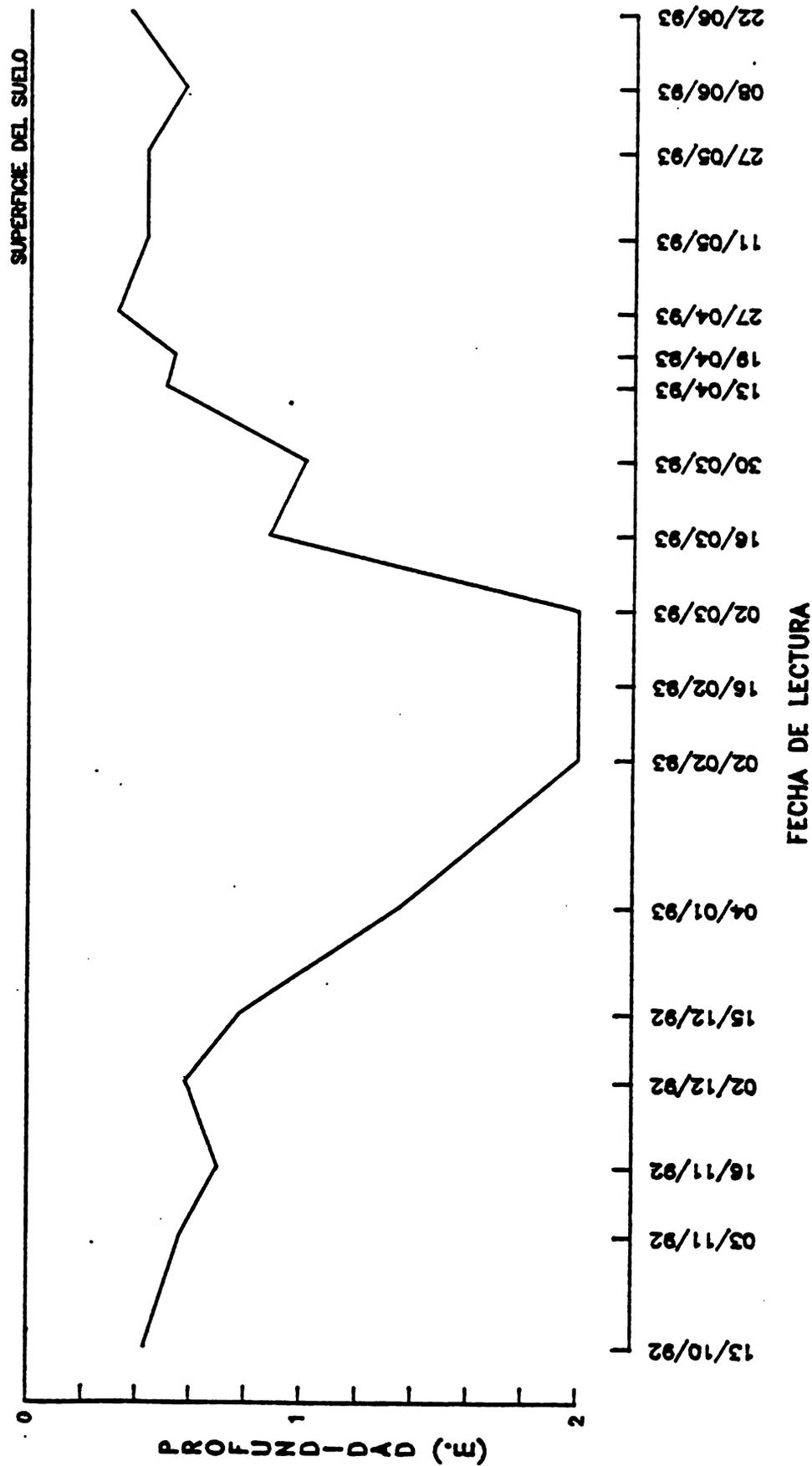
NO. DEL POZO	01-04-93	26-05-93
1	0.40	
2	0.27	
3	0.45	0.33
4		
5		
6		
7		
8		
9	0.18	0.18
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		

ANEXO II

FIGURAS

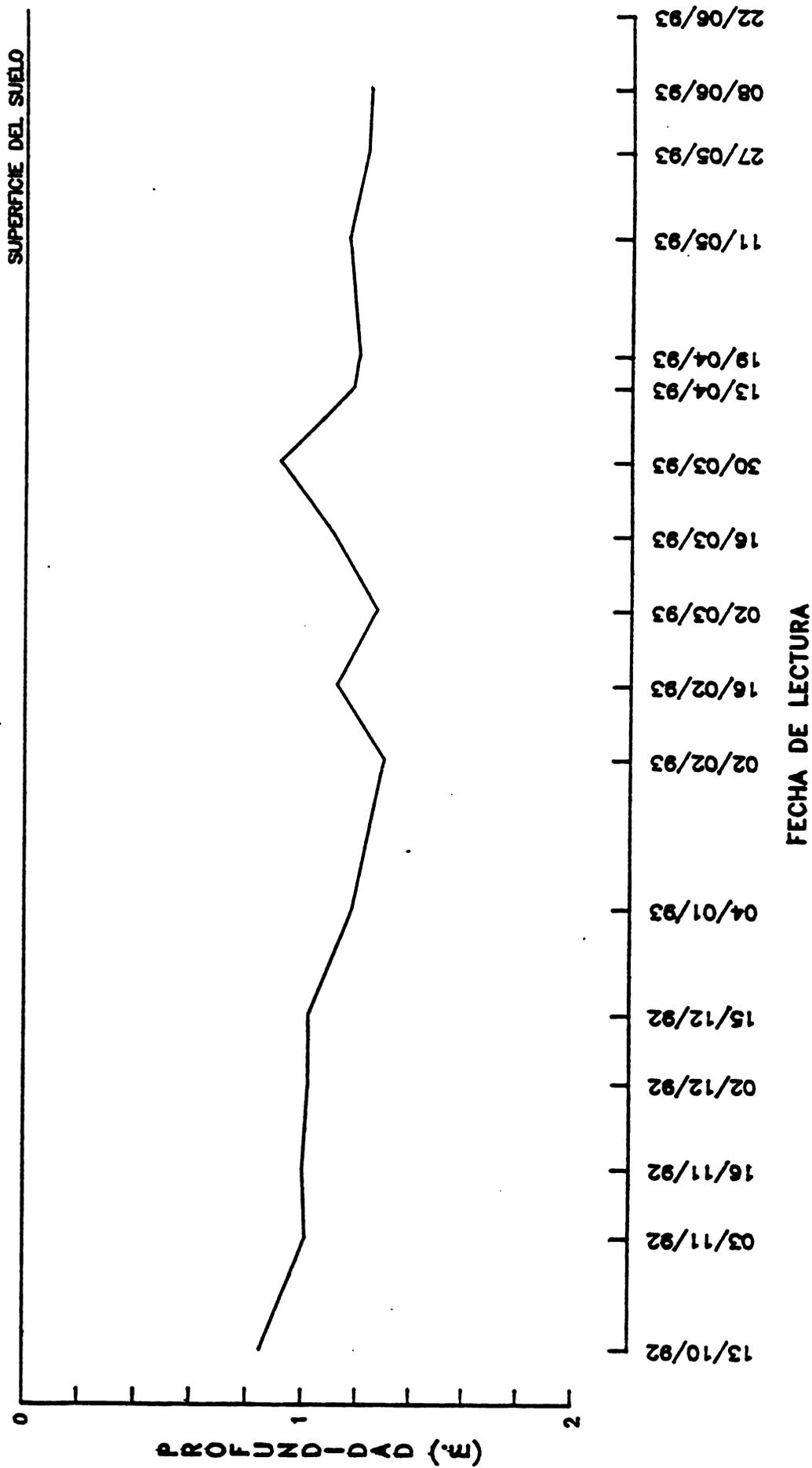
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR SAN LUIS.**

POZO DE OBSERVACION EDUARDO BASTOS.



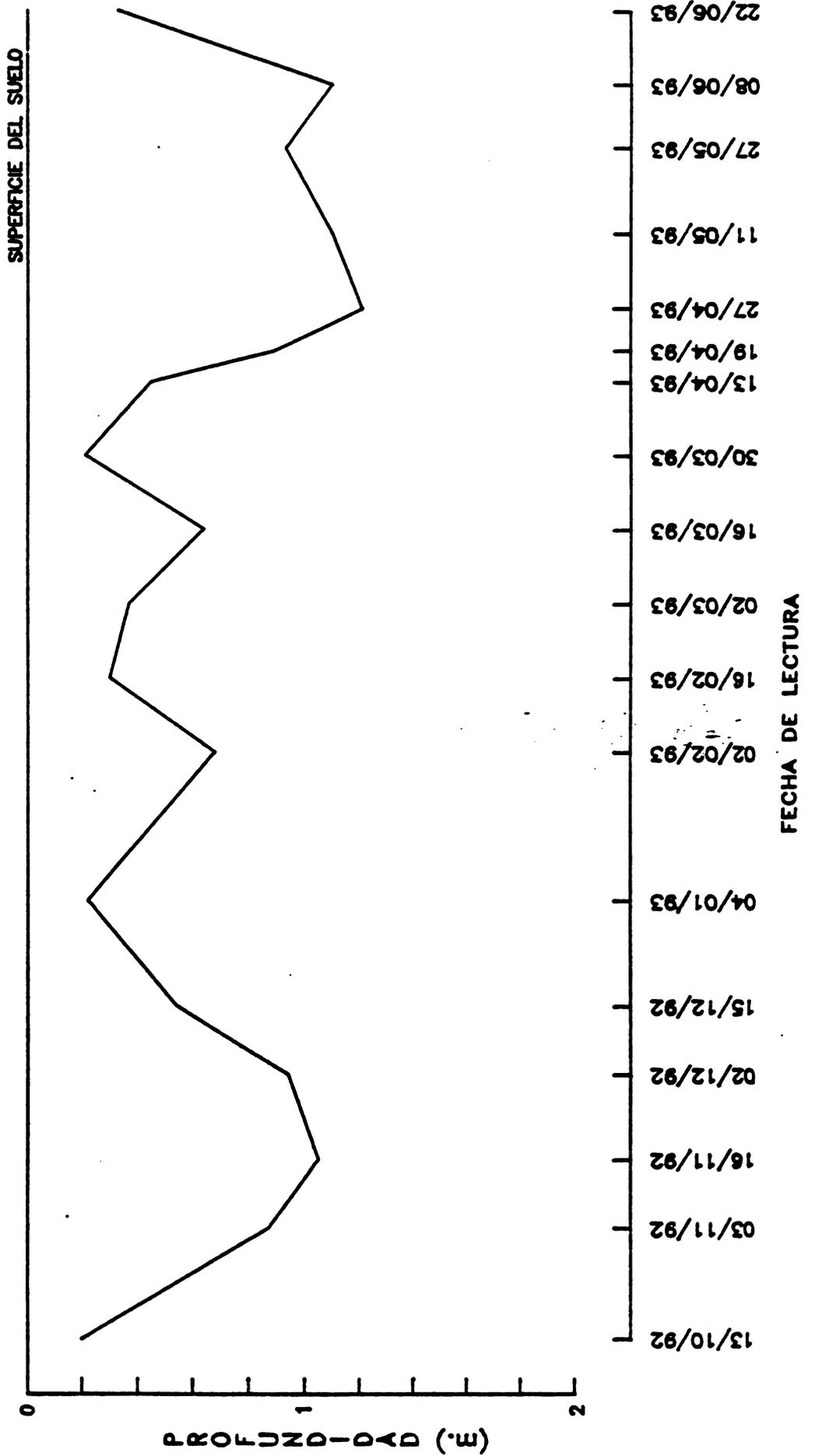
ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR SAN LUIS.

POZO DE OBSERVACION LUIS RODRIGUEZ



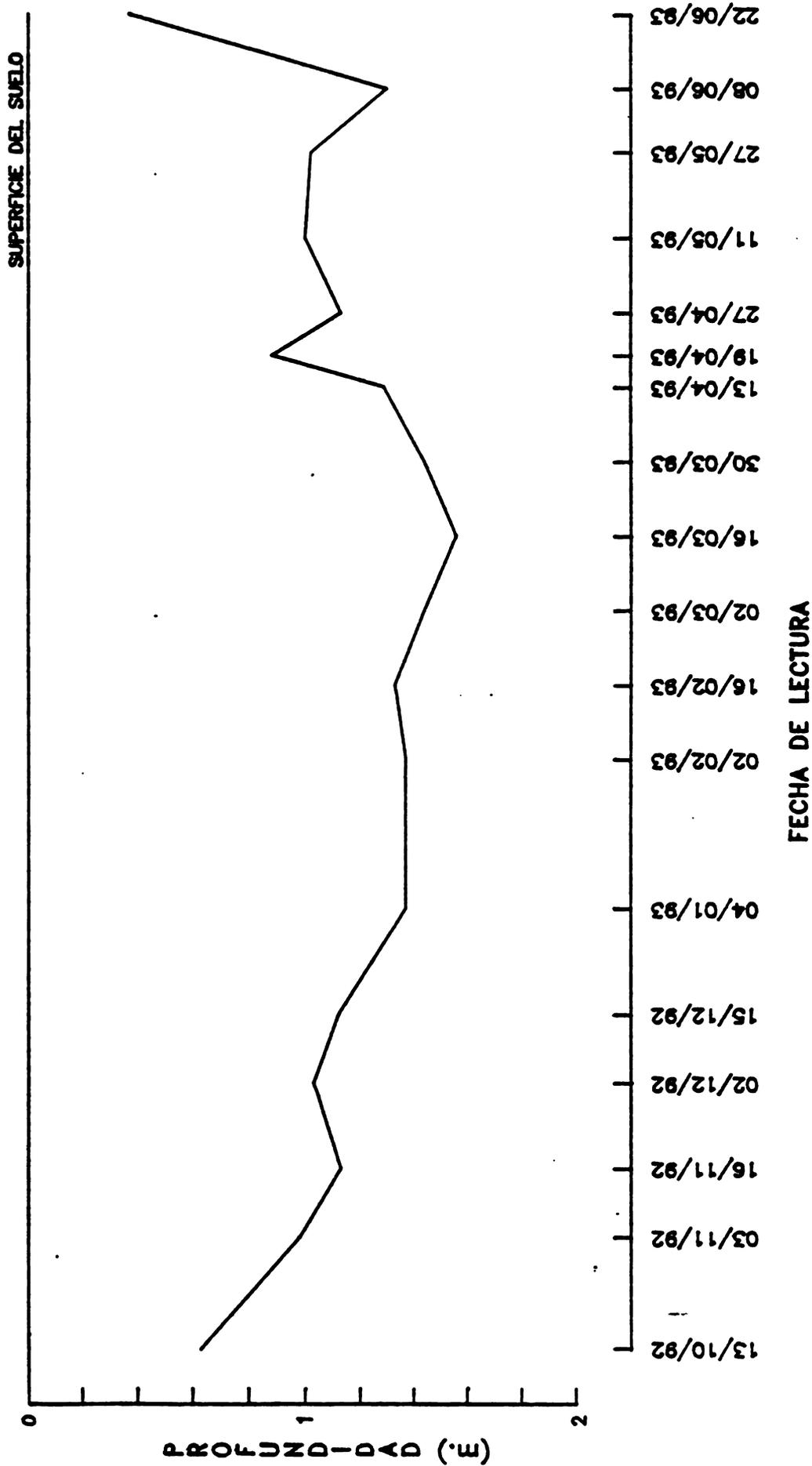
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR SAN LUIS.**

POZO DE OBSERVACION SIMON GONZALEZ



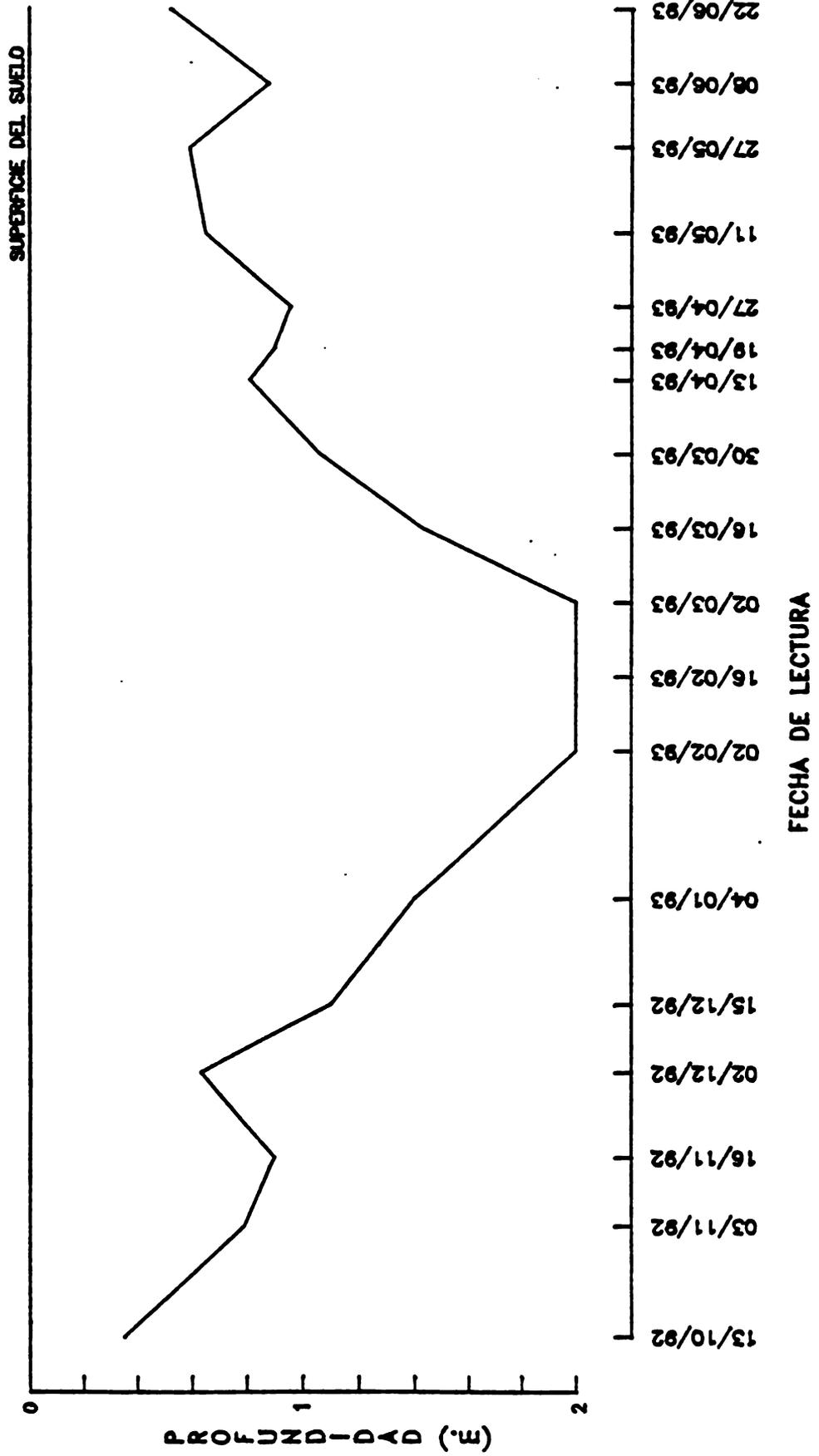
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR SAN LUIS.**

POZO DE OBSERVACION SEVERO VILLAREAL



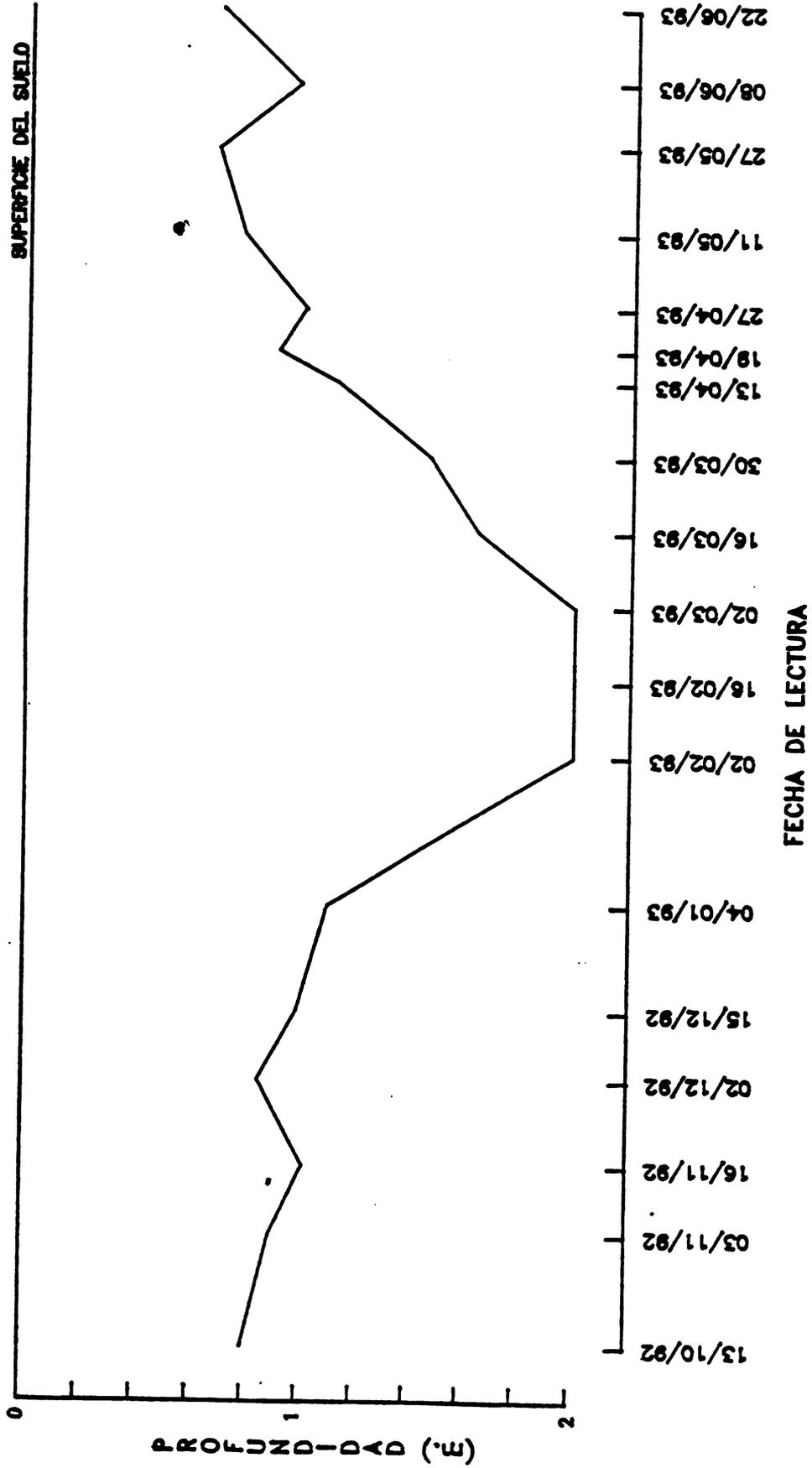
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREÁTICO
SECTOR SAN LUIS.**

POZO DE OBSERVACION MARCO T. AJUN.



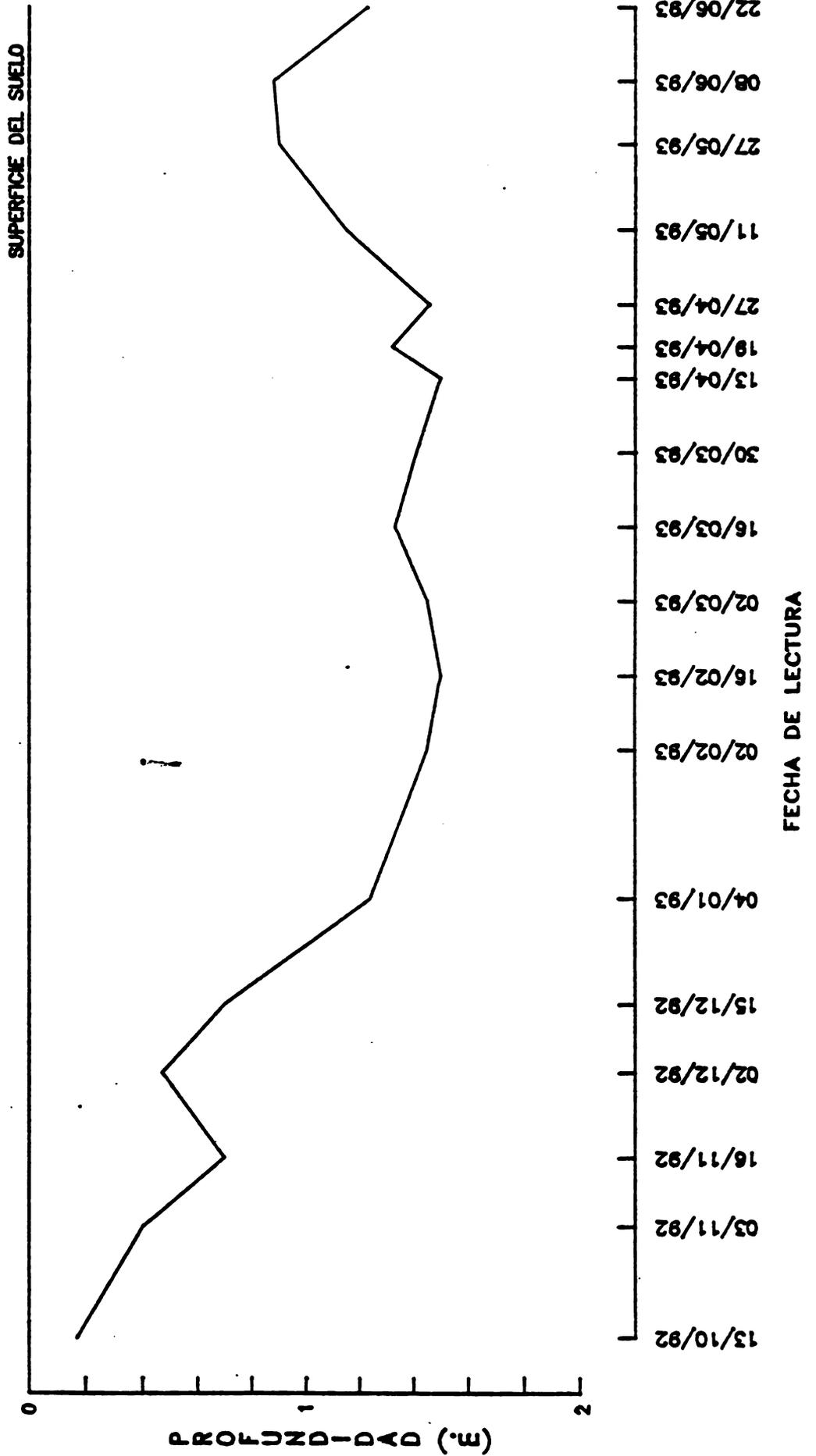
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR SAN LUIS.**

POZO DE OBSERVACION PETRONILA RODRIGUEZ



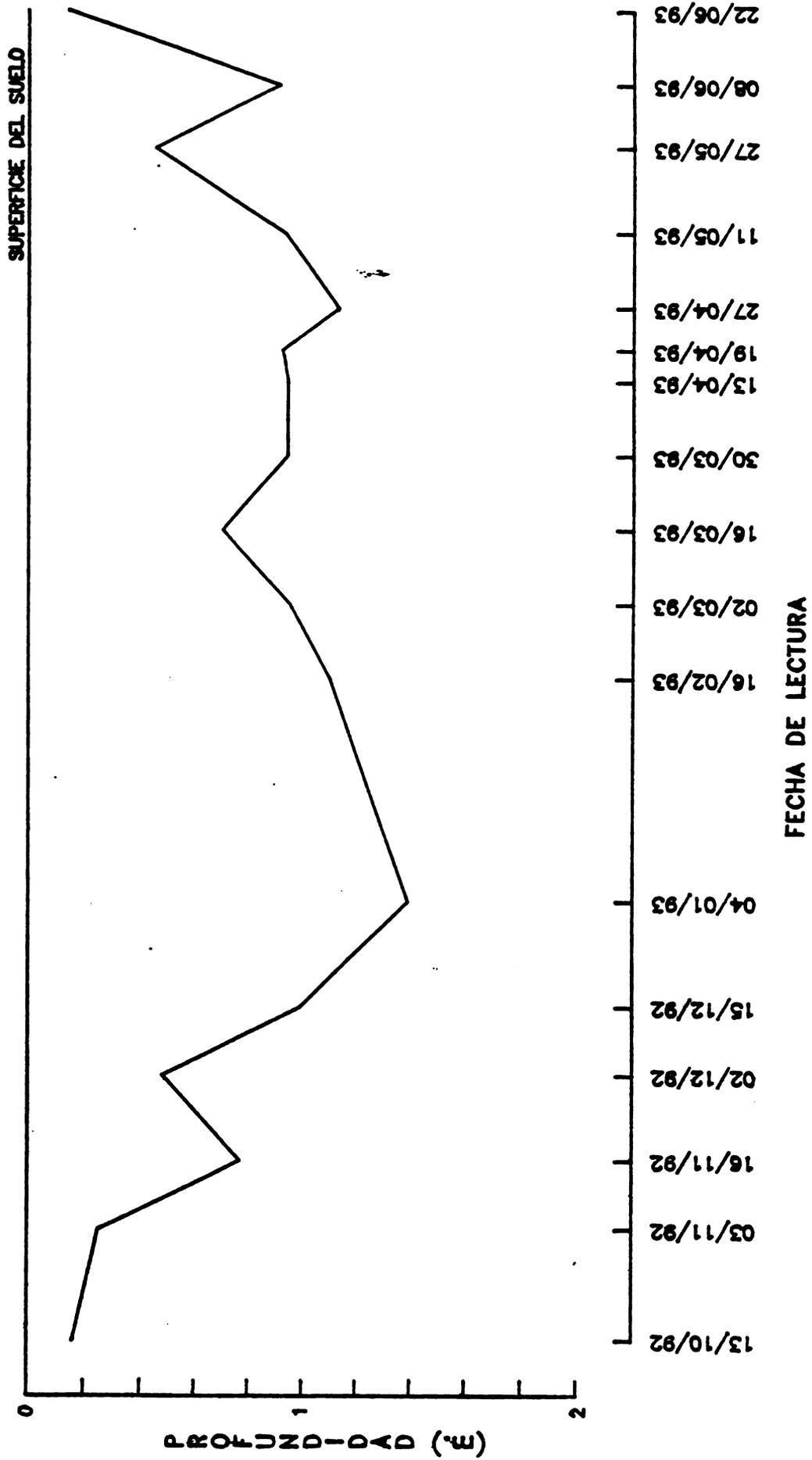
ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR SAN LUIS.

POZO DE OBSERVACION CARLOS BRAVO 2

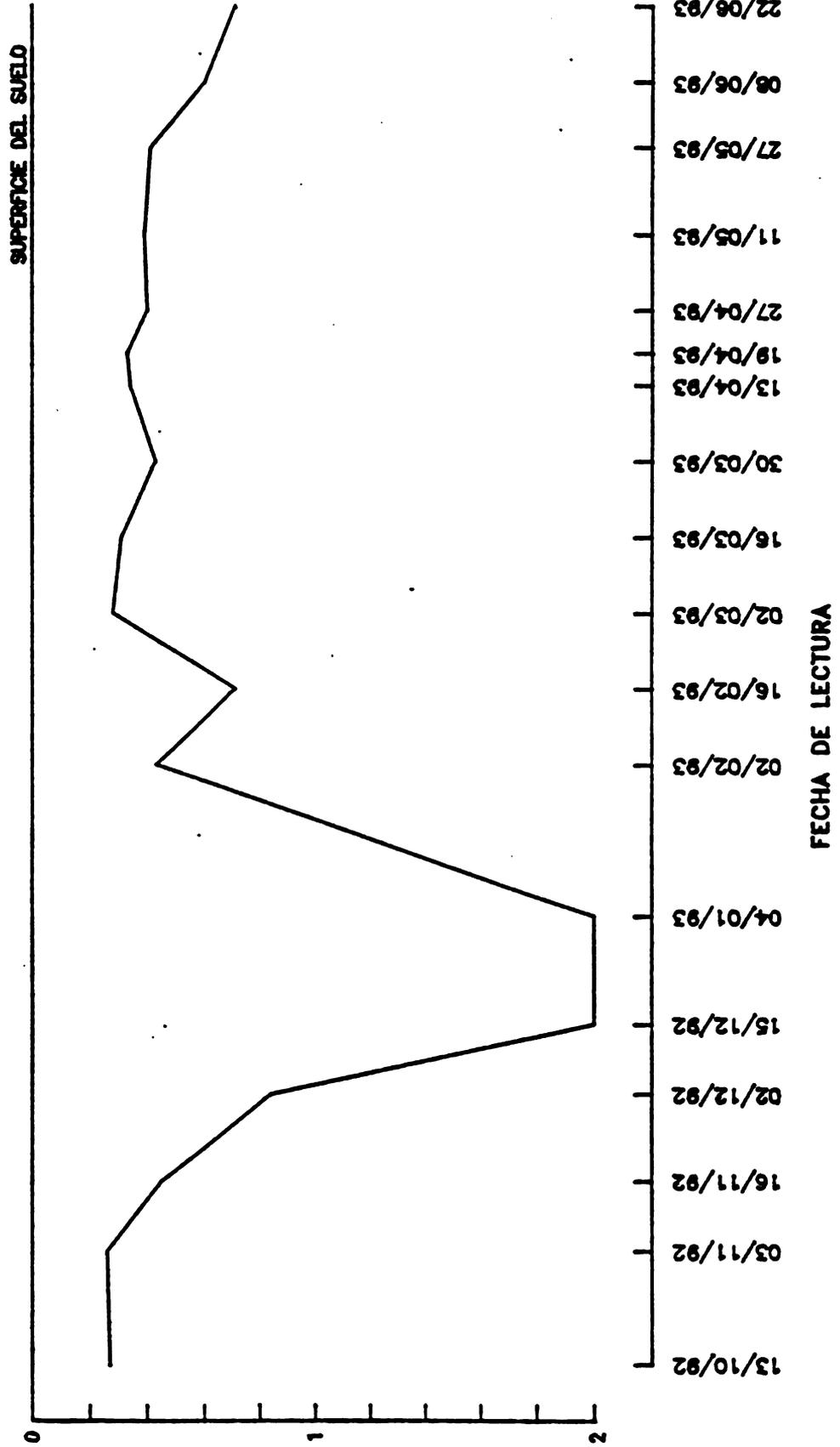


ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR SAN LUIS.

POZO DE OBSERVACION TACSAN-NILO.

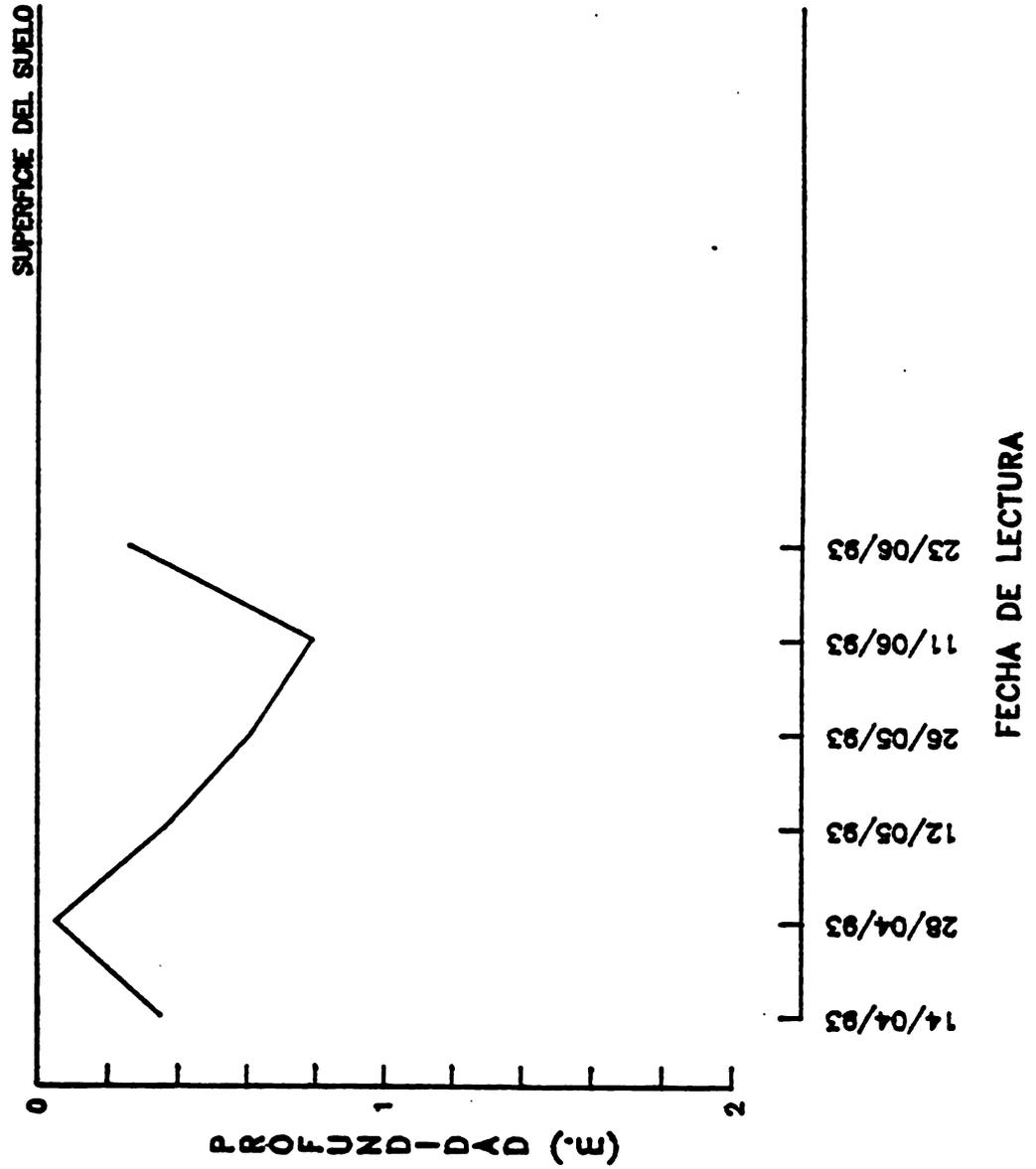


**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR SAN LUIS.
POZO DE OBSERVACION ISMAEL PEREIRA**



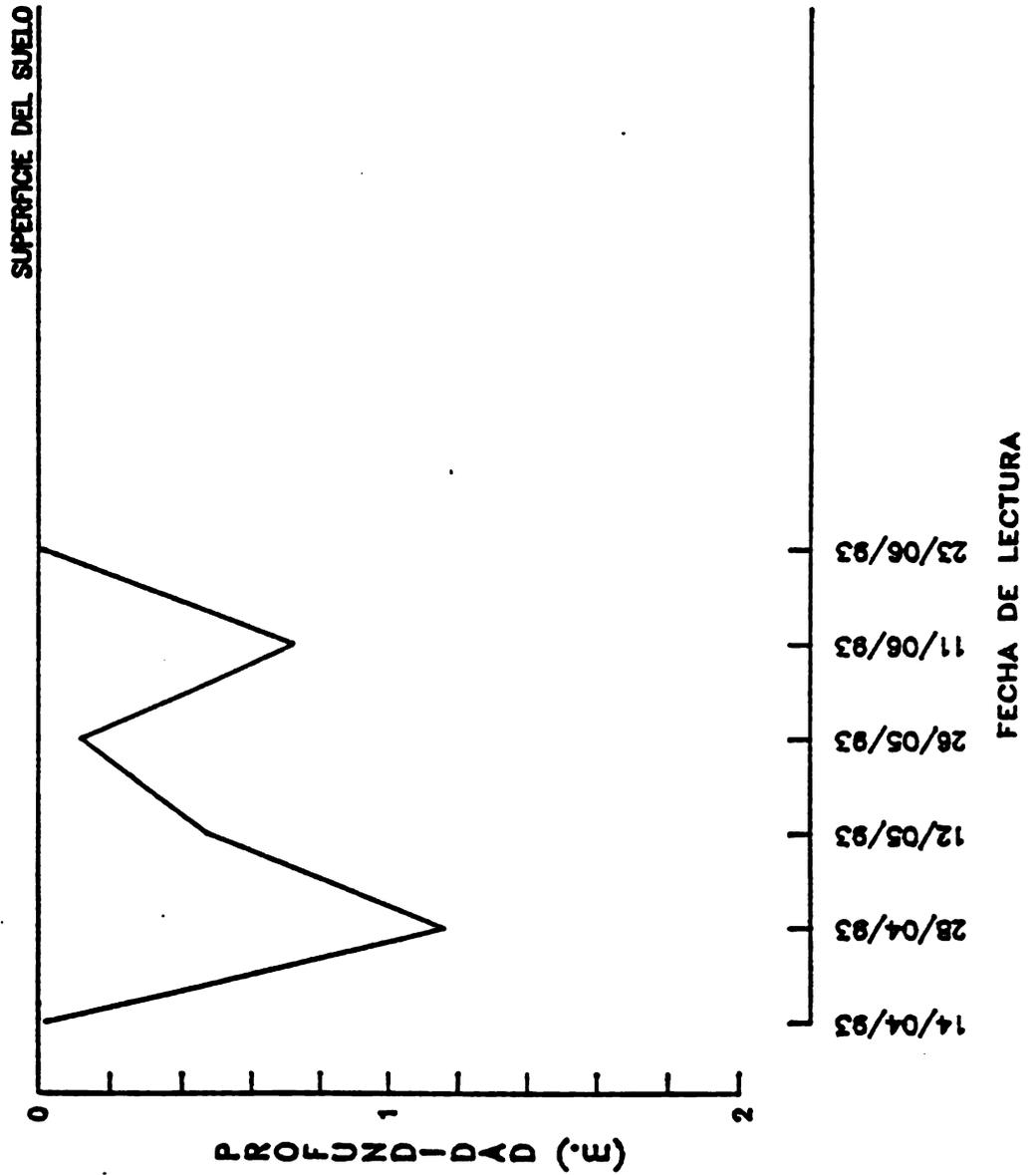
ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR TABOGA

POZO DE OBSERVACION 7

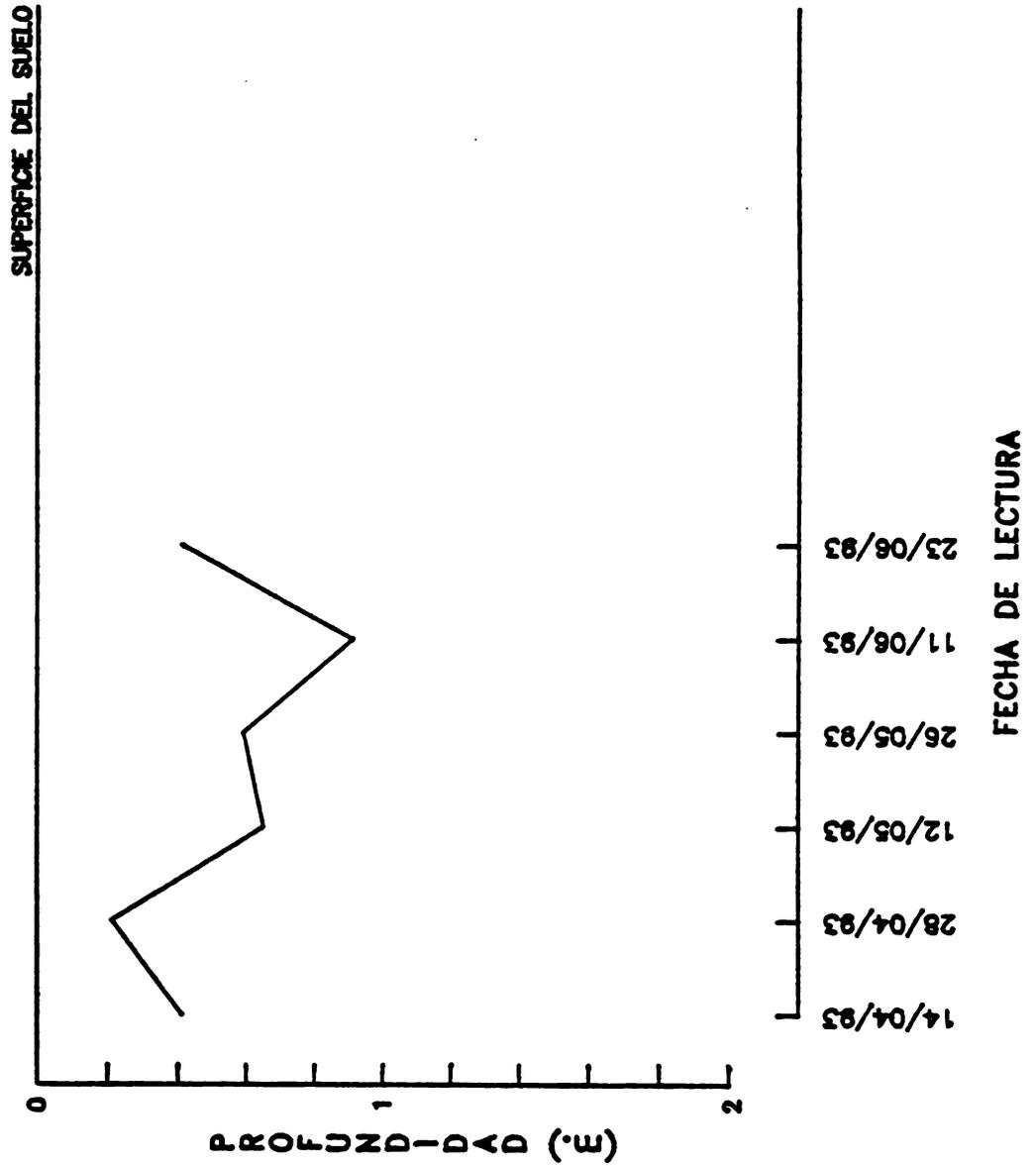


ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR TABOGA

POZO DE OBSERVACION 14

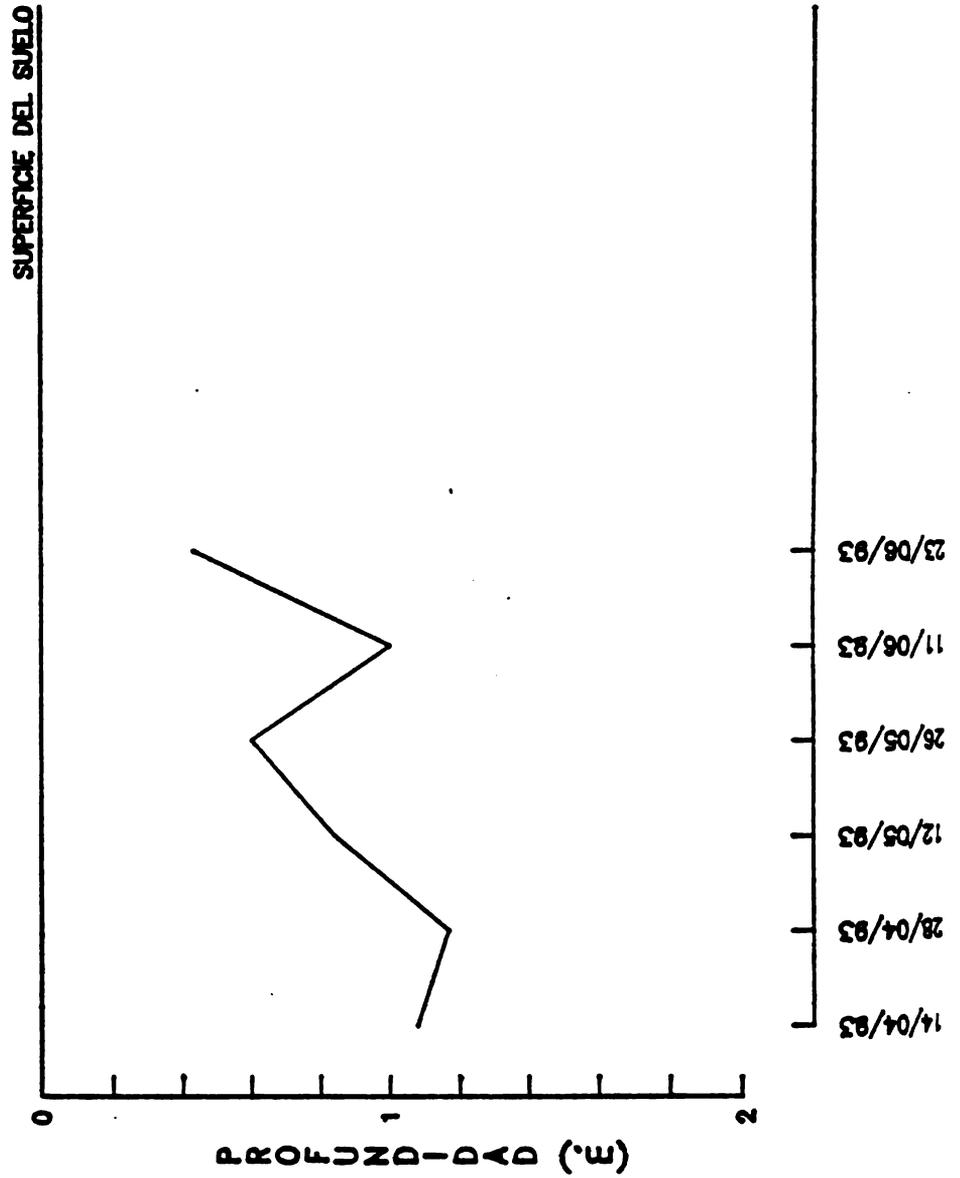


ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR TABOGA
 POZO DE OBSERVACION 15



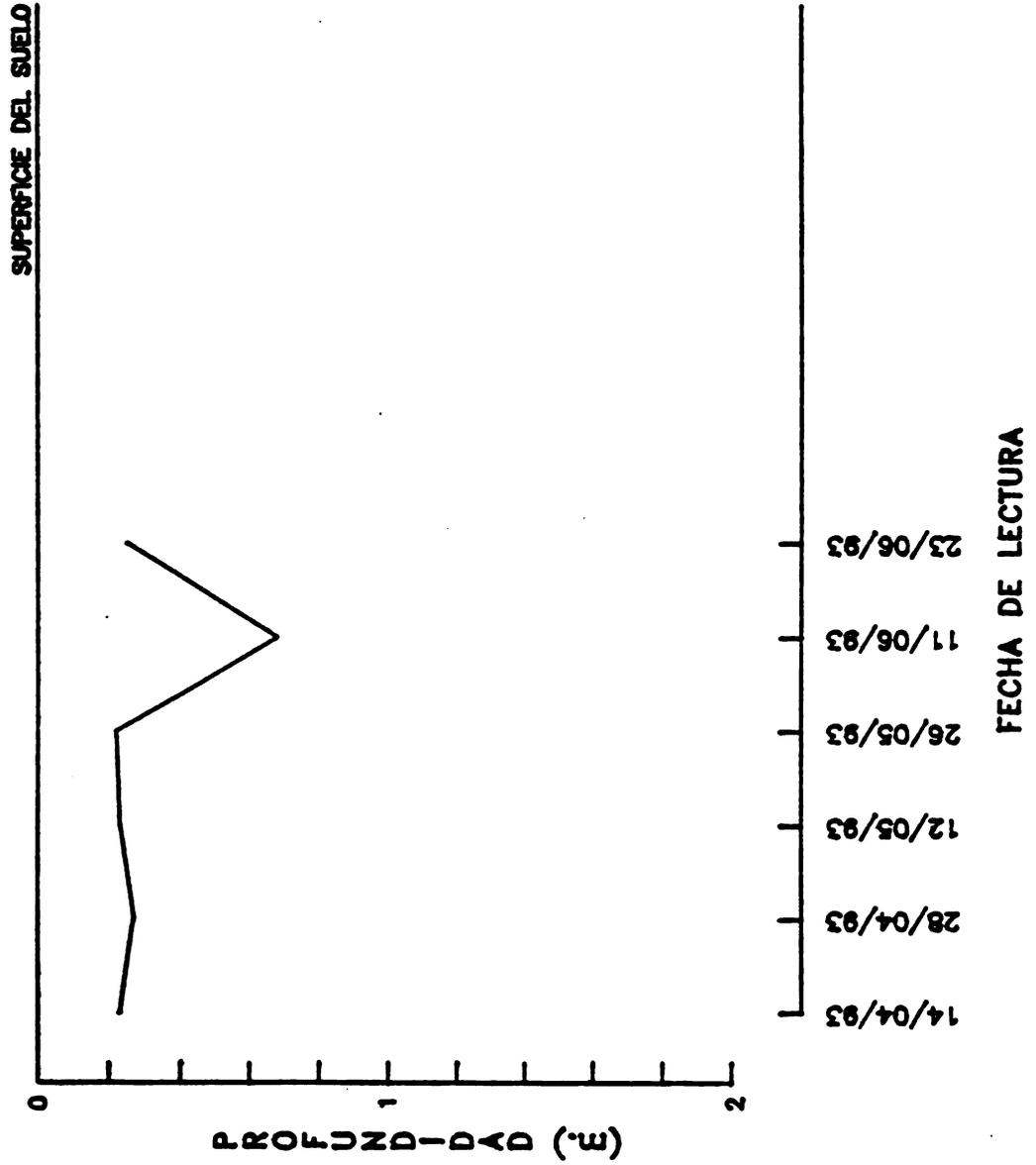
Figuro - 11d

**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR TABOGA
POZO DE OBSERVACION 22**

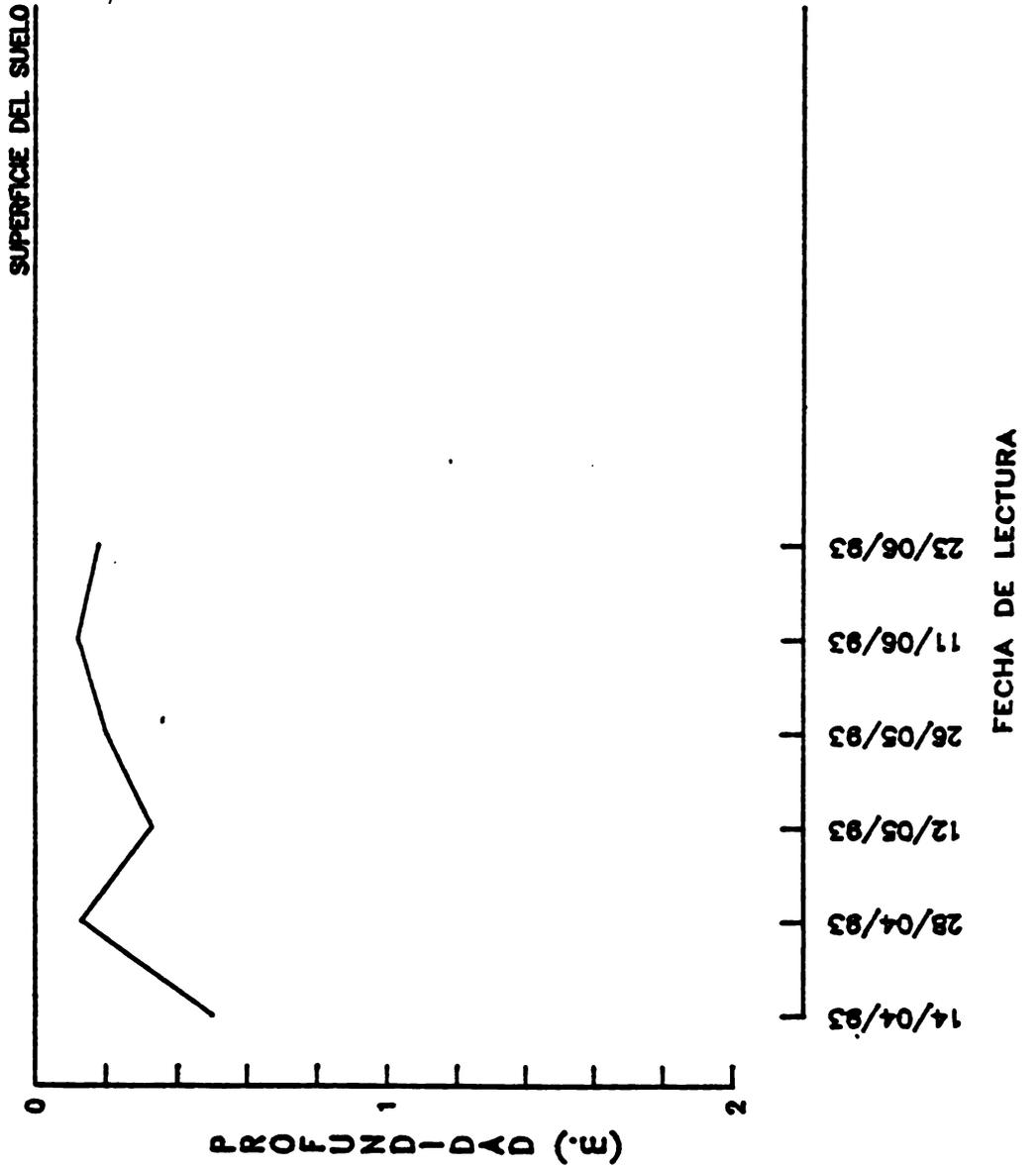


ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR TABOGA

POZO DE OBSERVACION 35



ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR TABOGA
 POZO DE OBSERVACION 45



ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR TABOGA

POZO DE OBSERVACION 51

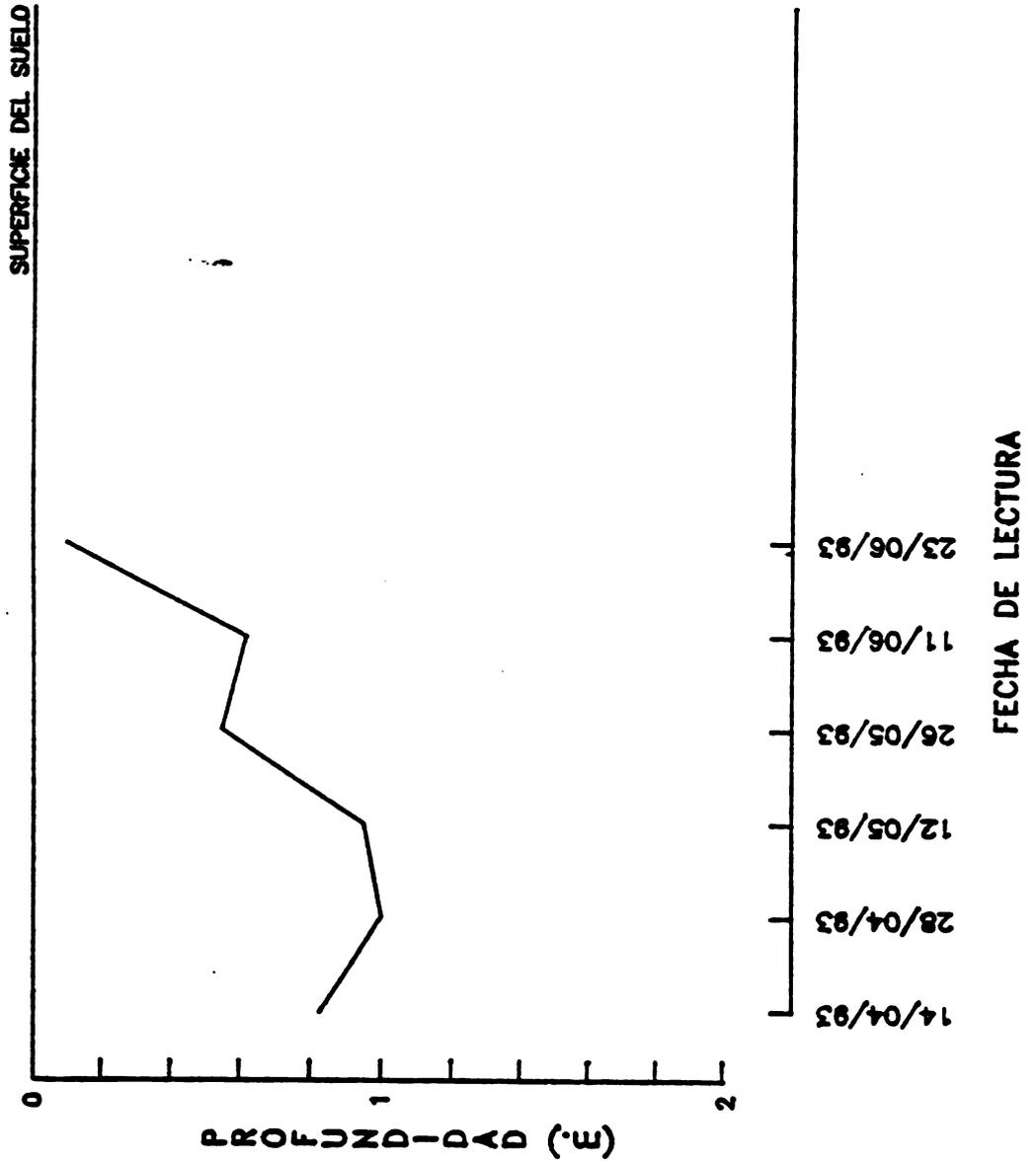
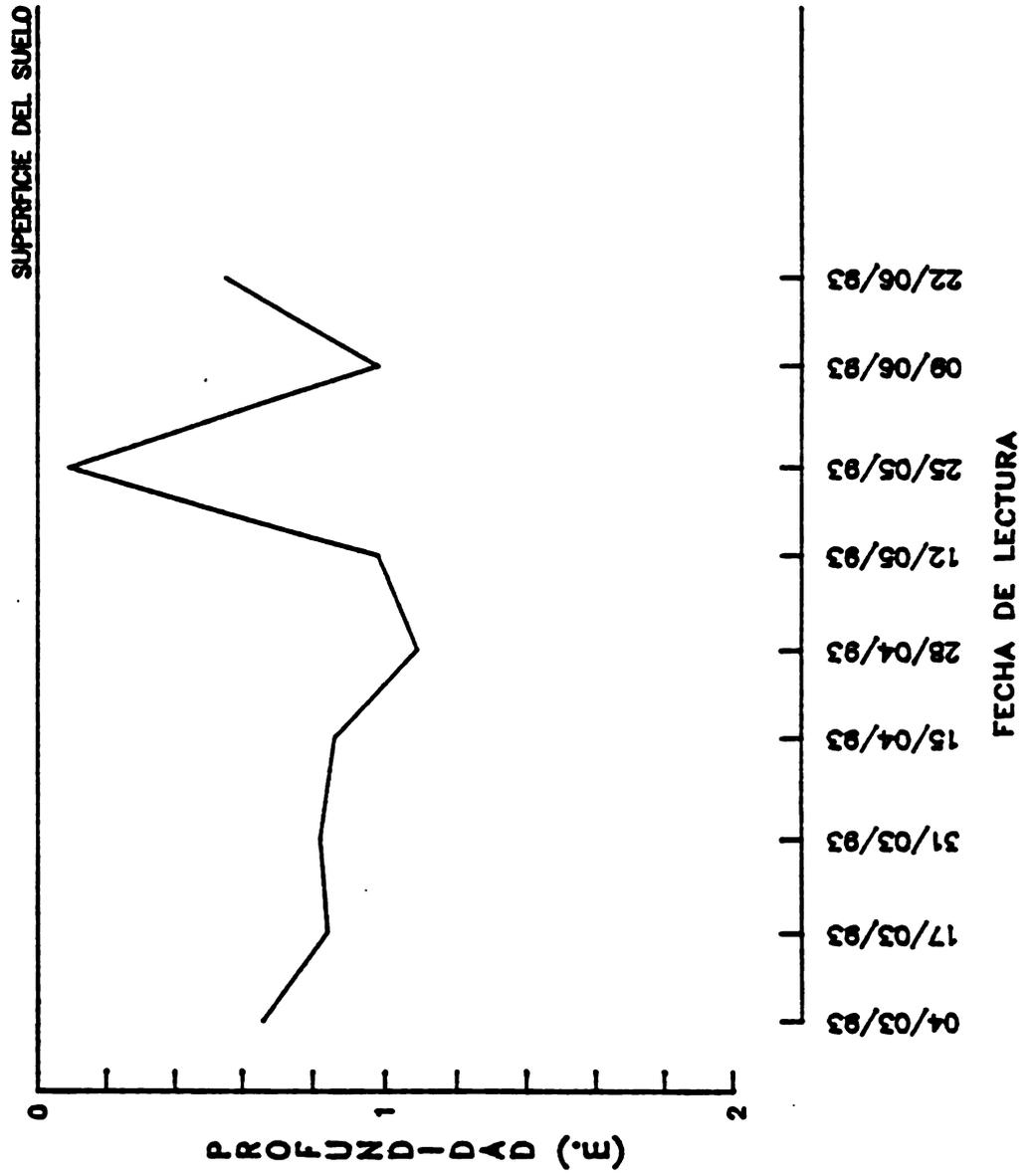
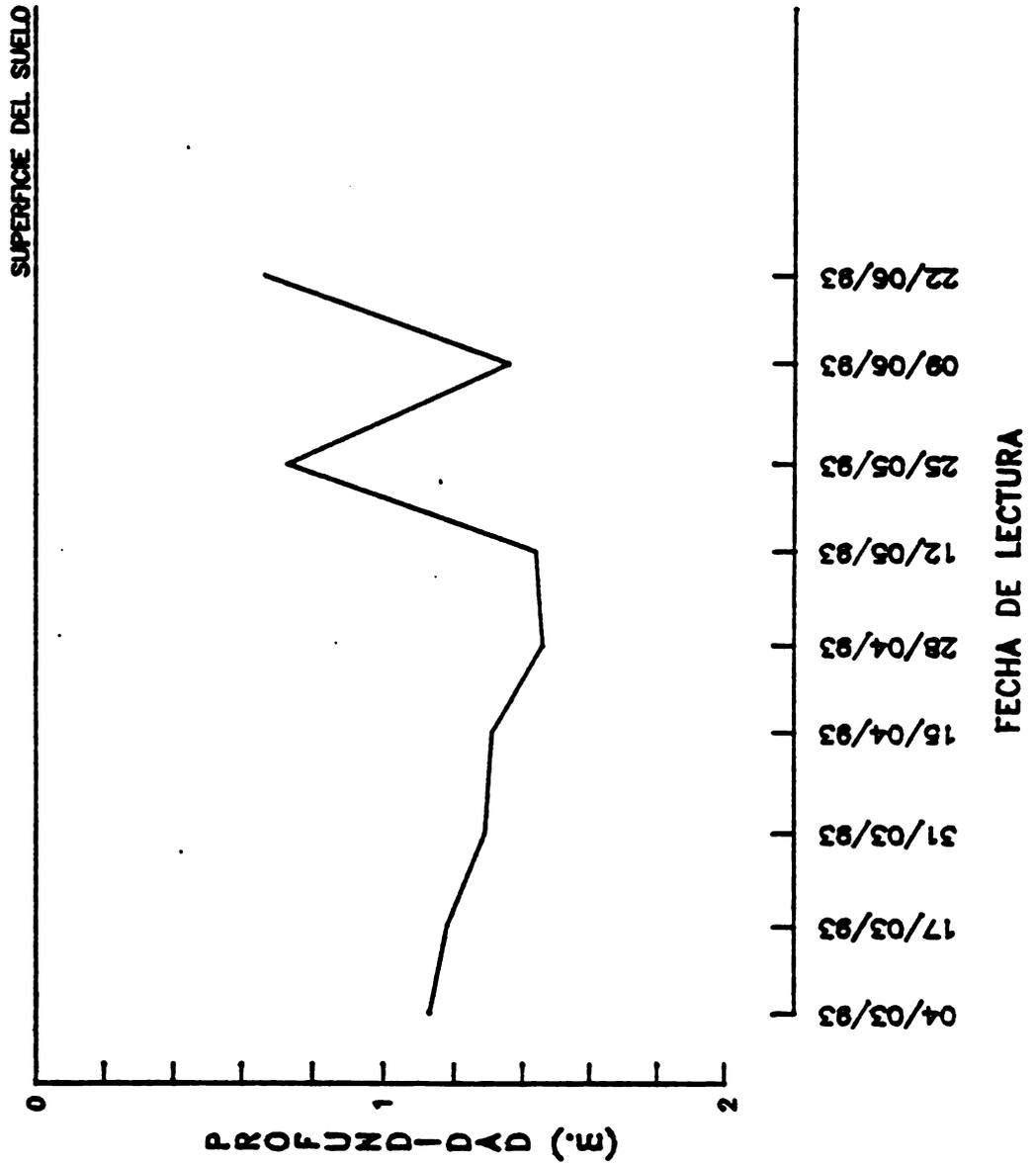


Figura - 12 b

**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR ESTACION EXPERIMENTAL ENRIQUE JIMENEZ NUNEZ
POZO DE OBSERVACION ASEGEN**

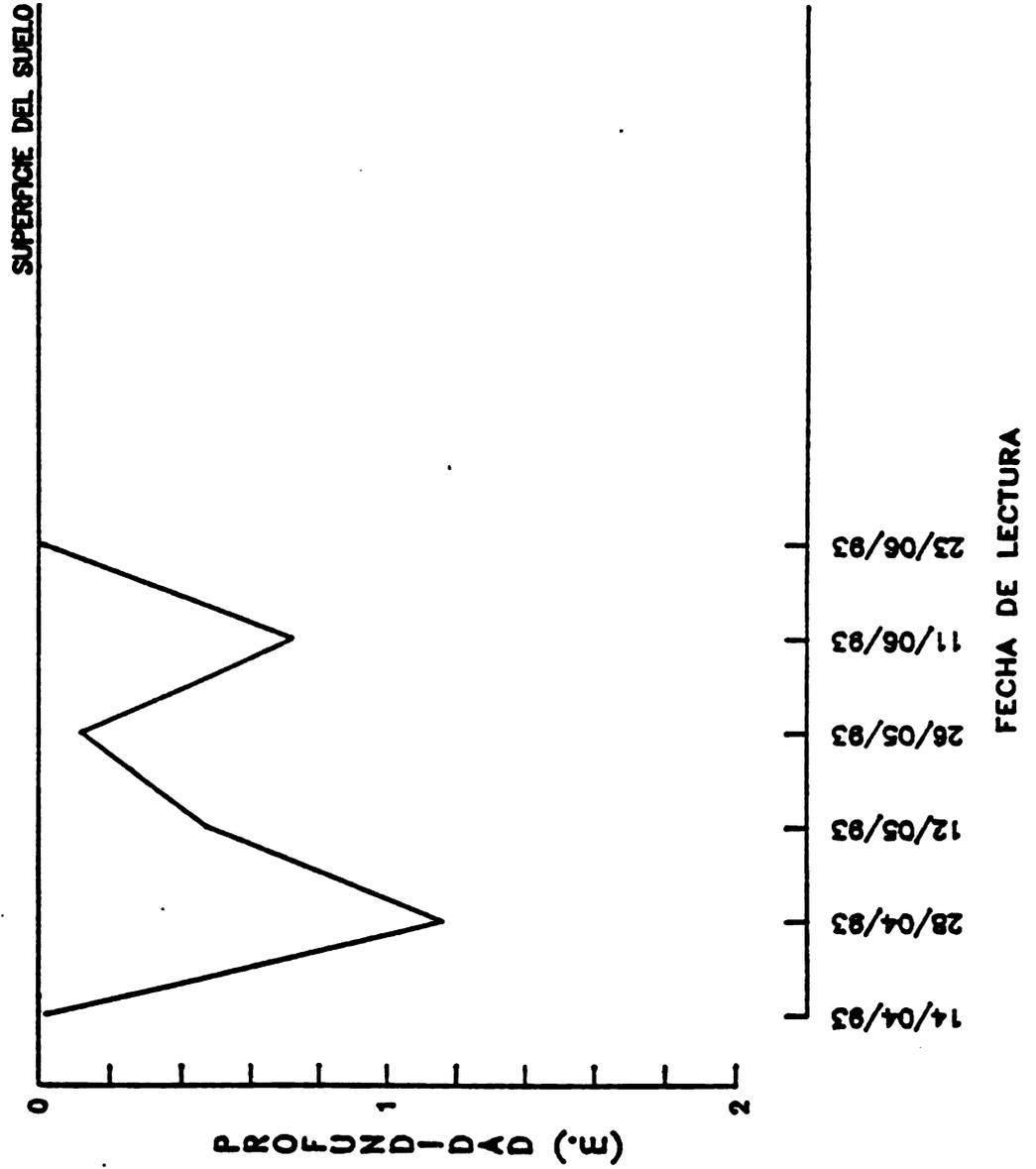


ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR ESTACION EXPERIMENTAL ENRIQUE JIMENEZ NUNEZ
 POZO DE OBSERVACION MANGOS

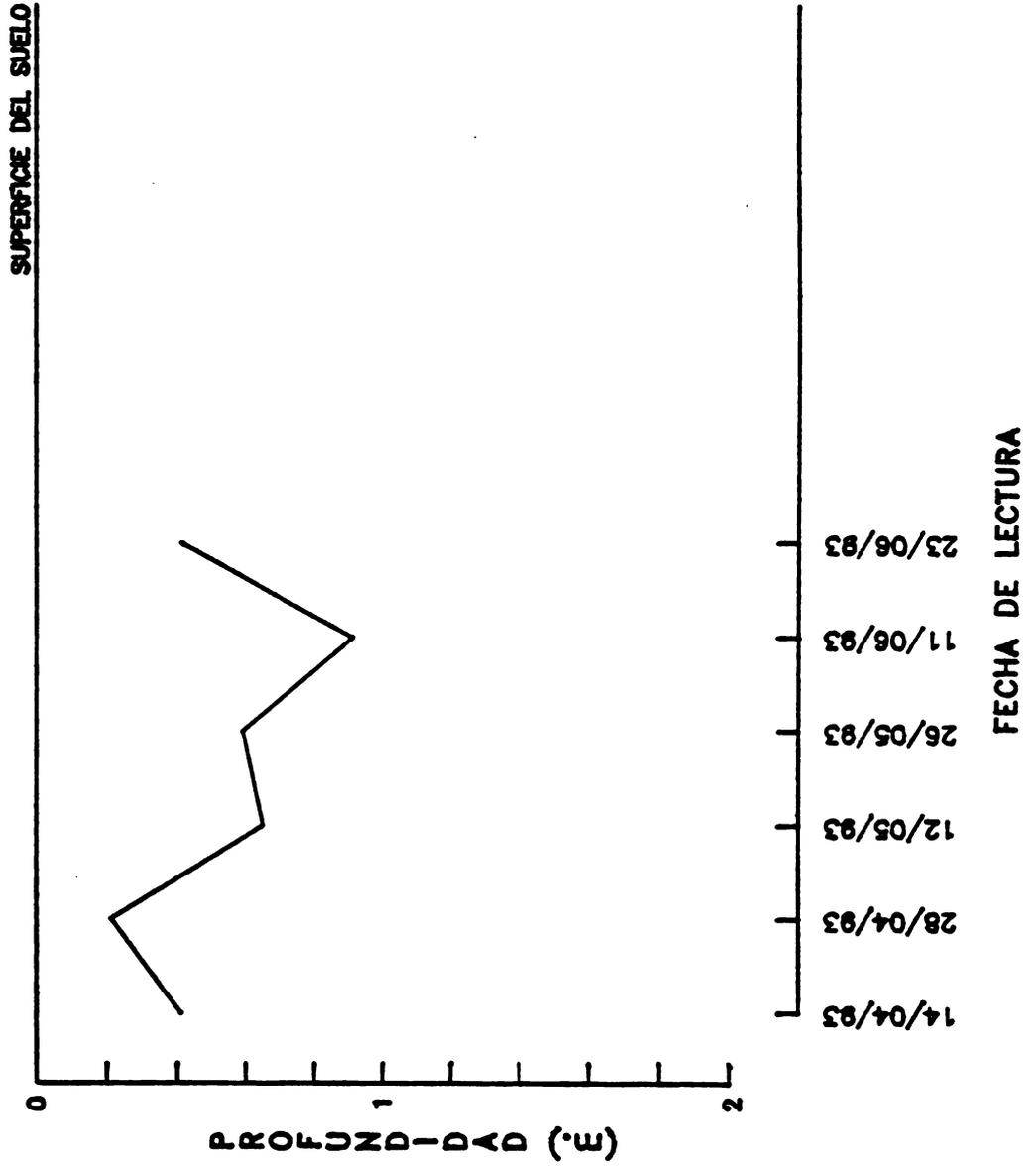


ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR TABOGA

POZO DE OBSERVACION 14

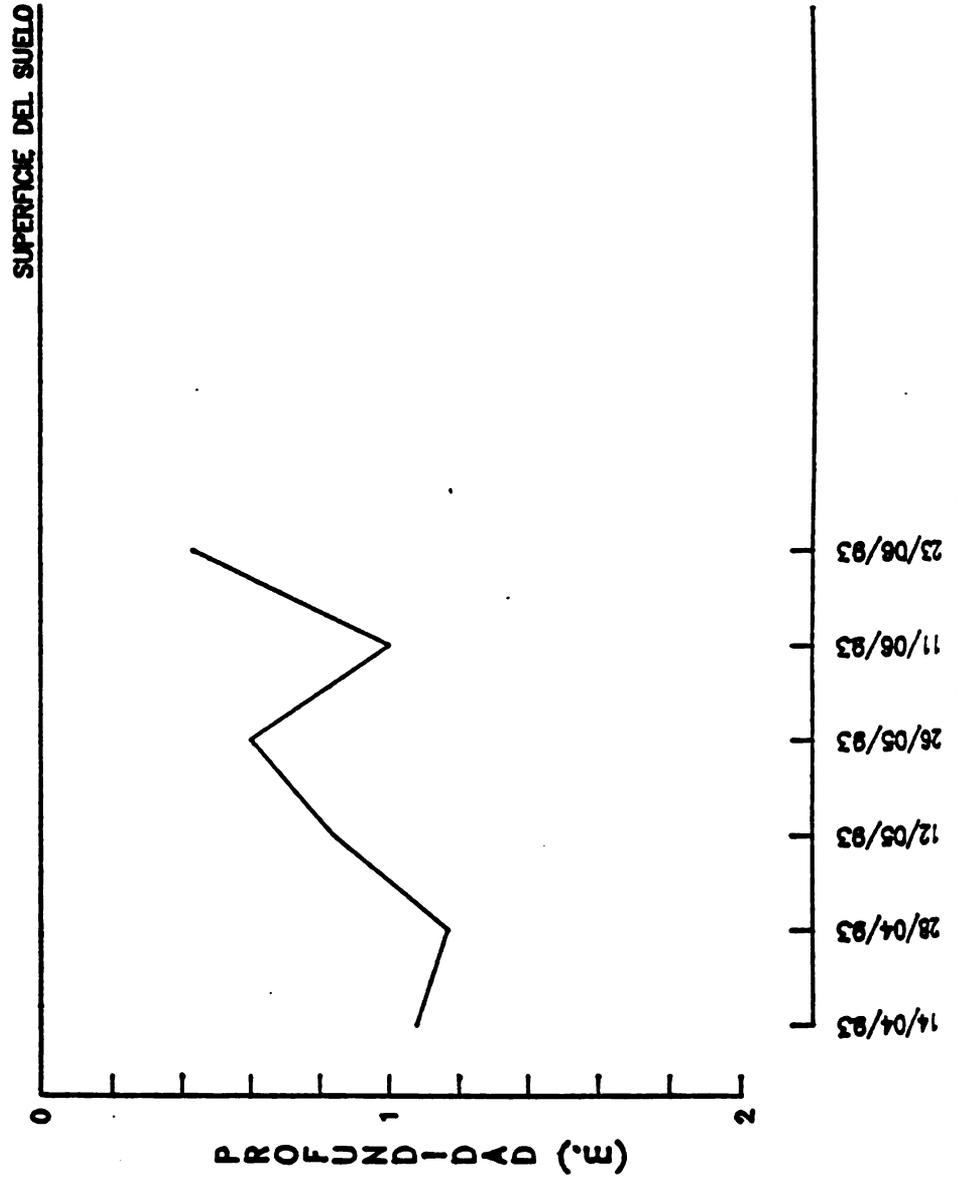


ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREÁTICO
 SECTOR TABOGA
 POZO DE OBSERVACION 15

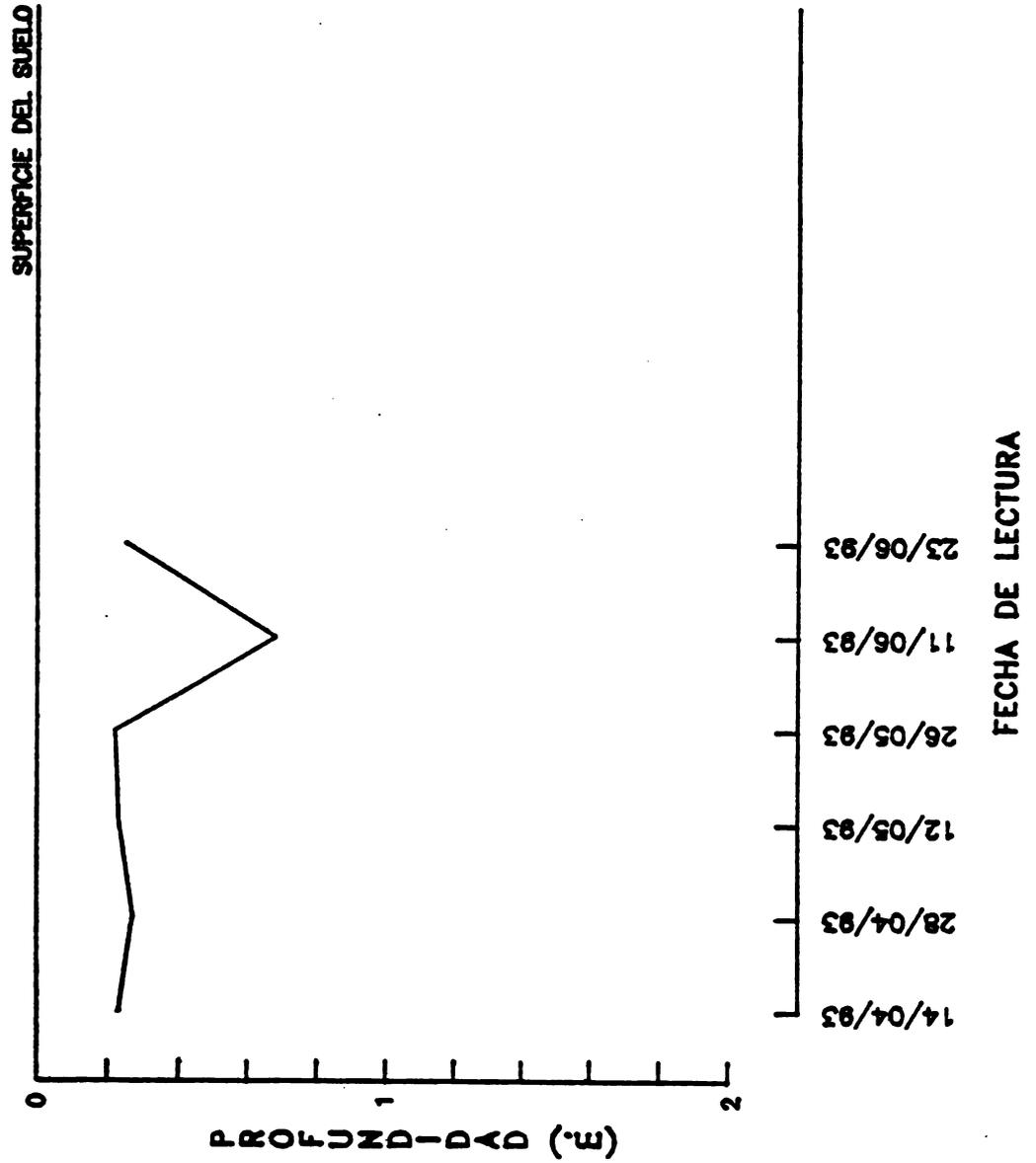


Figuro - 11d

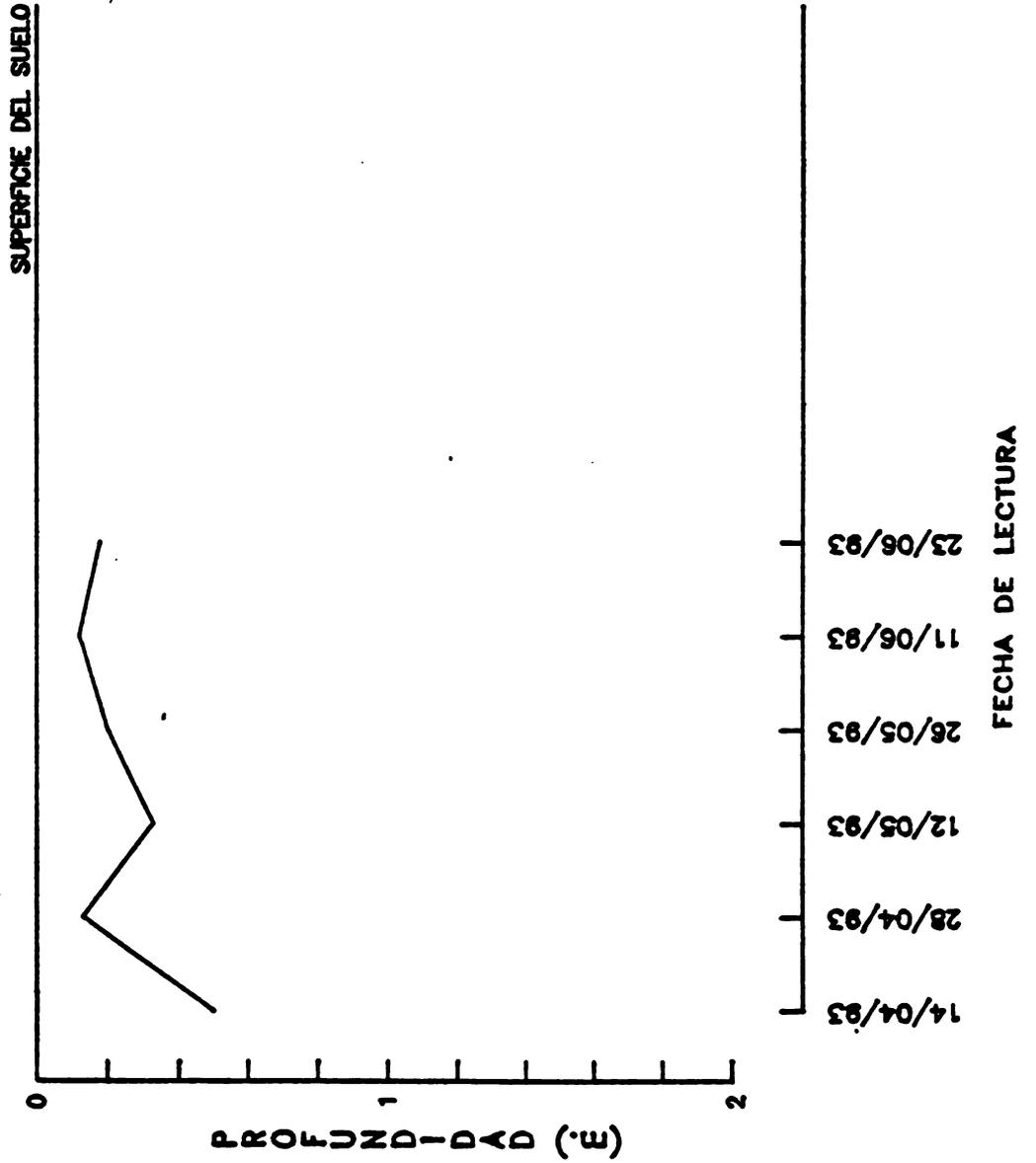
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR TABOGA
POZO DE OBSERVACION 22**



ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREÁTICO
 SECTOR TABOGA
 POZO DE OBSERVACION 35

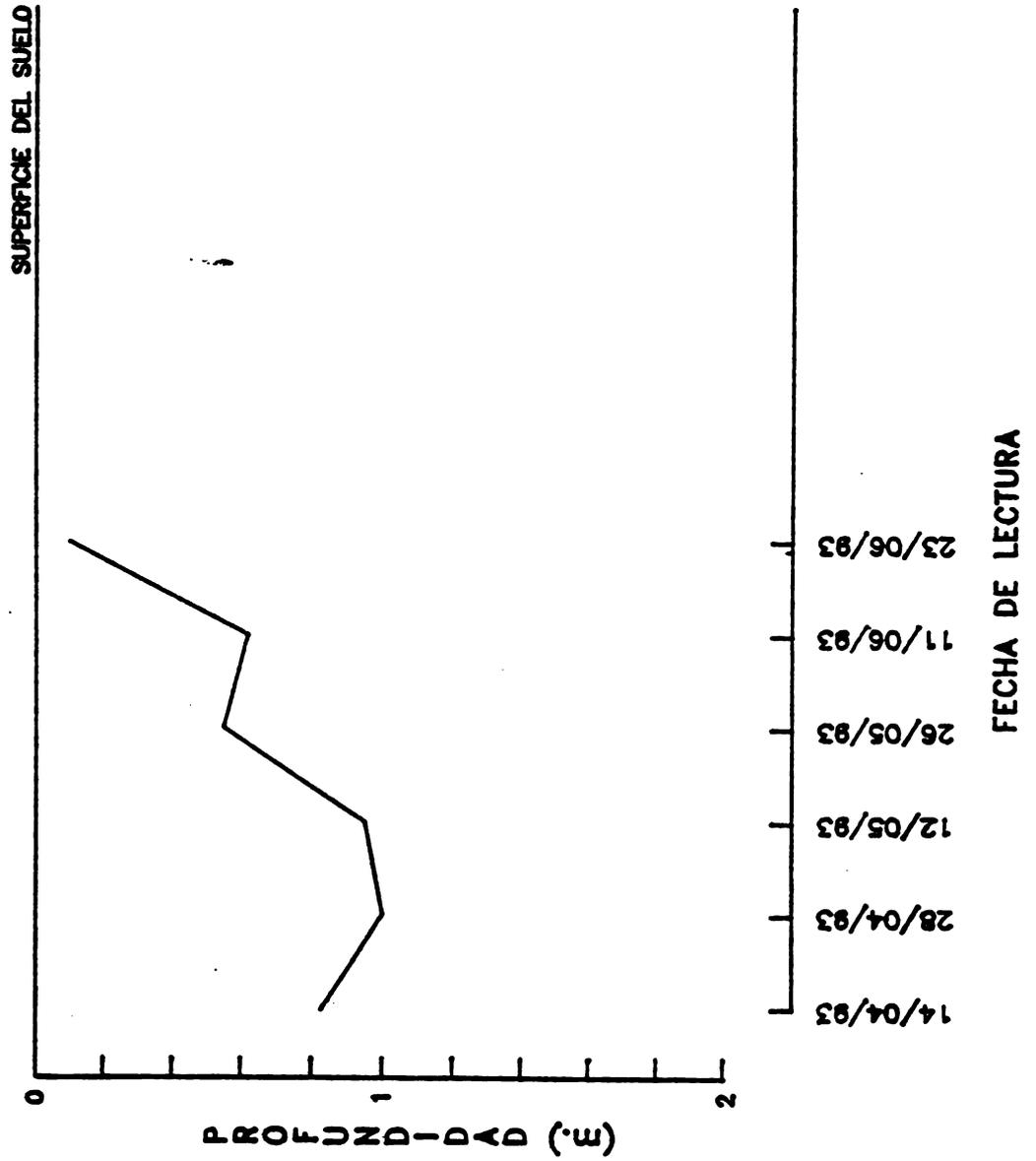


ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR TABOGA
 POZO DE OBSERVACION 45

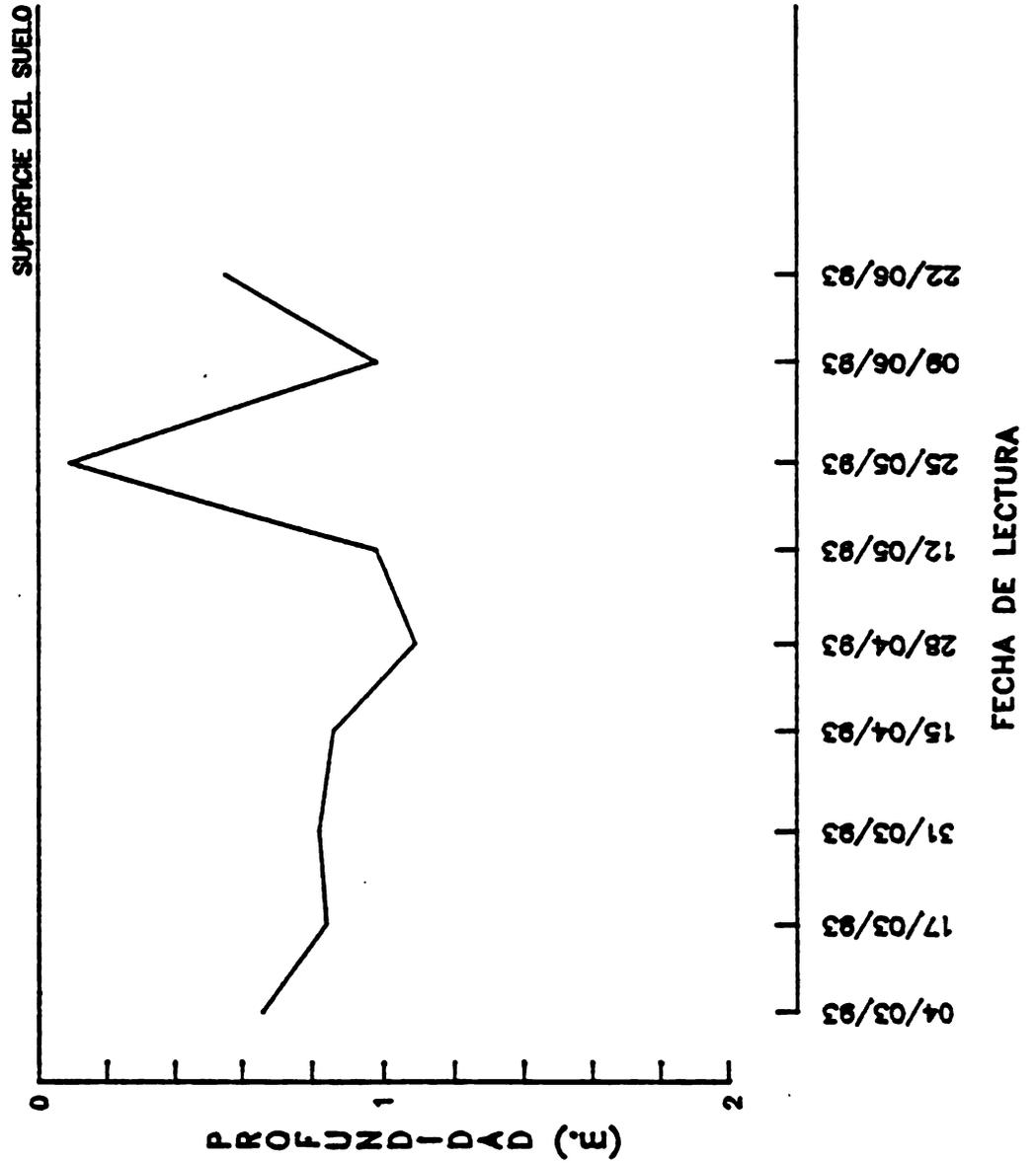


ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR TABOGA

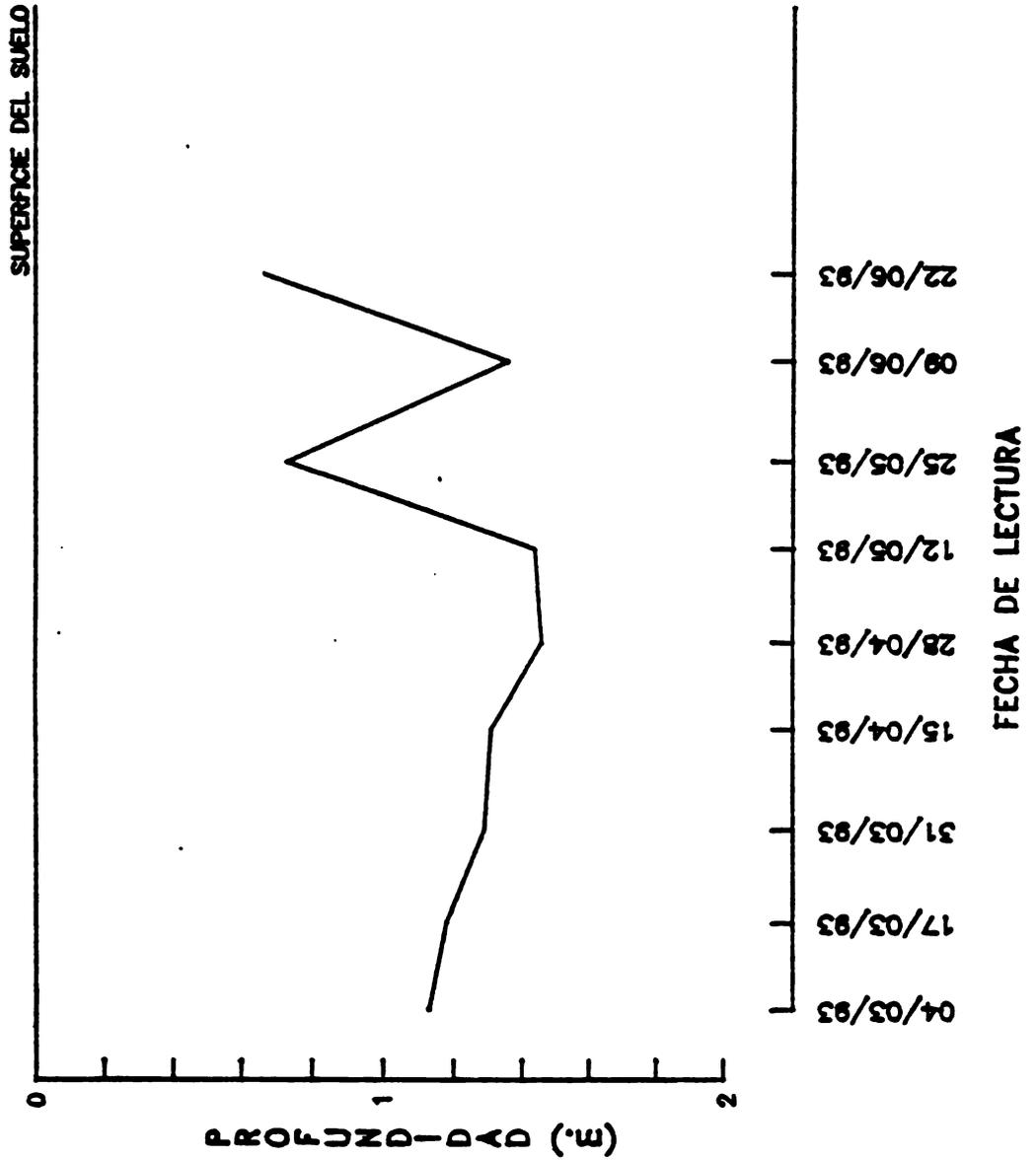
POZO DE OBSERVACION 51



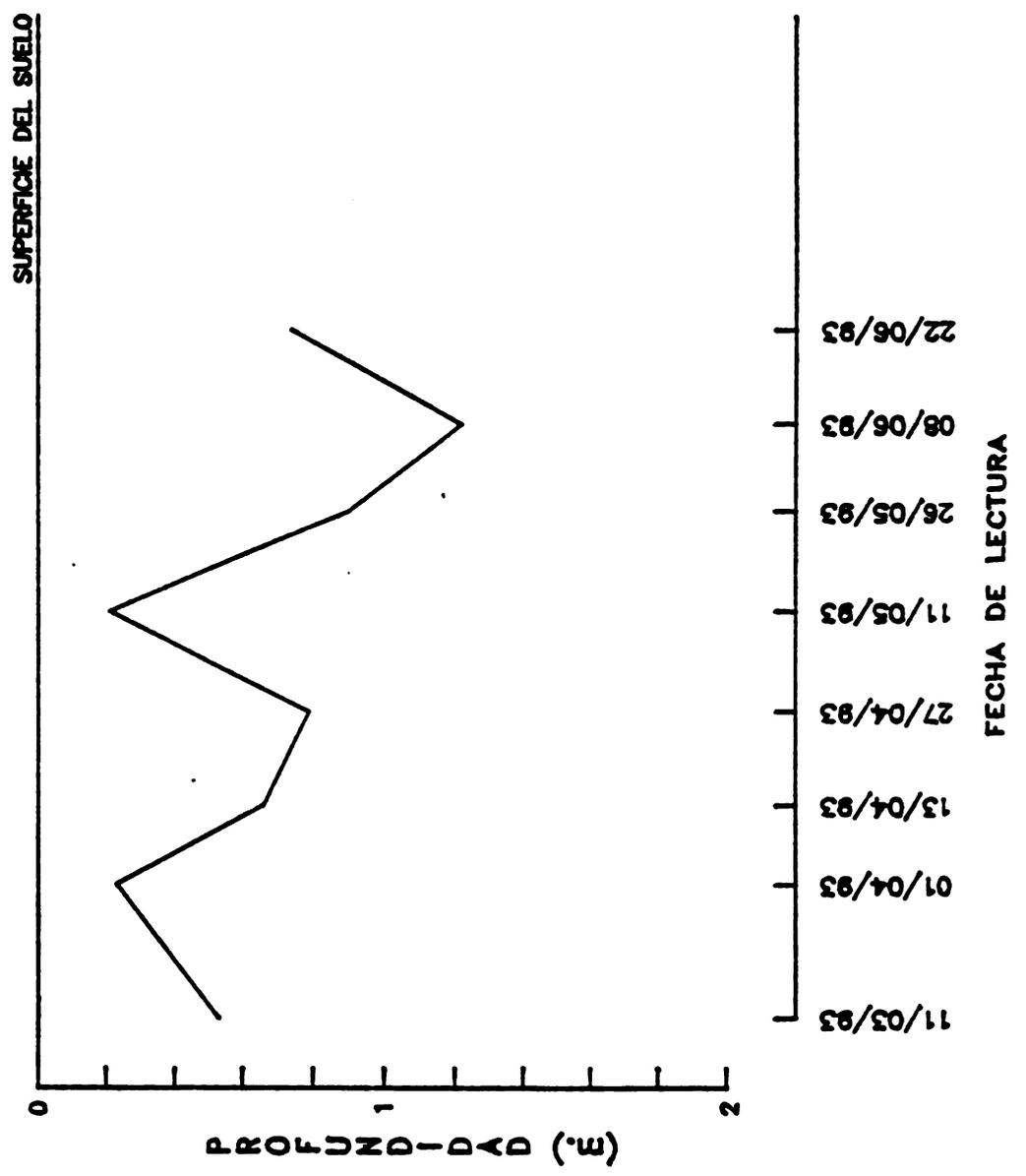
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR ESTACION EXPERIMENTAL ENRIQUE JIMENEZ NUNEZ
POZO DE OBSERVACION ASEGEN**



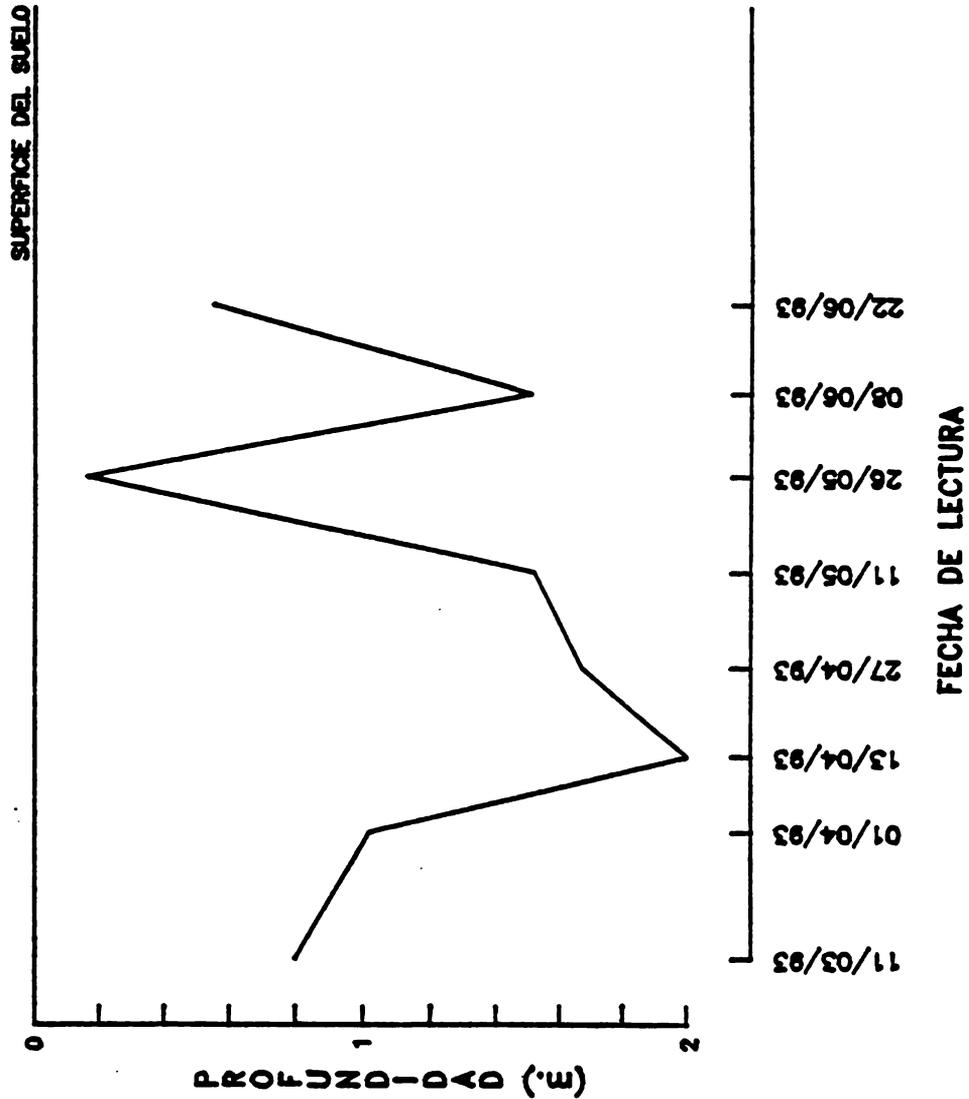
ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR ESTACION EXPERIMENTAL ENRIQUE JIMENEZ NUNEZ
POZO DE OBSERVACION MANGOS



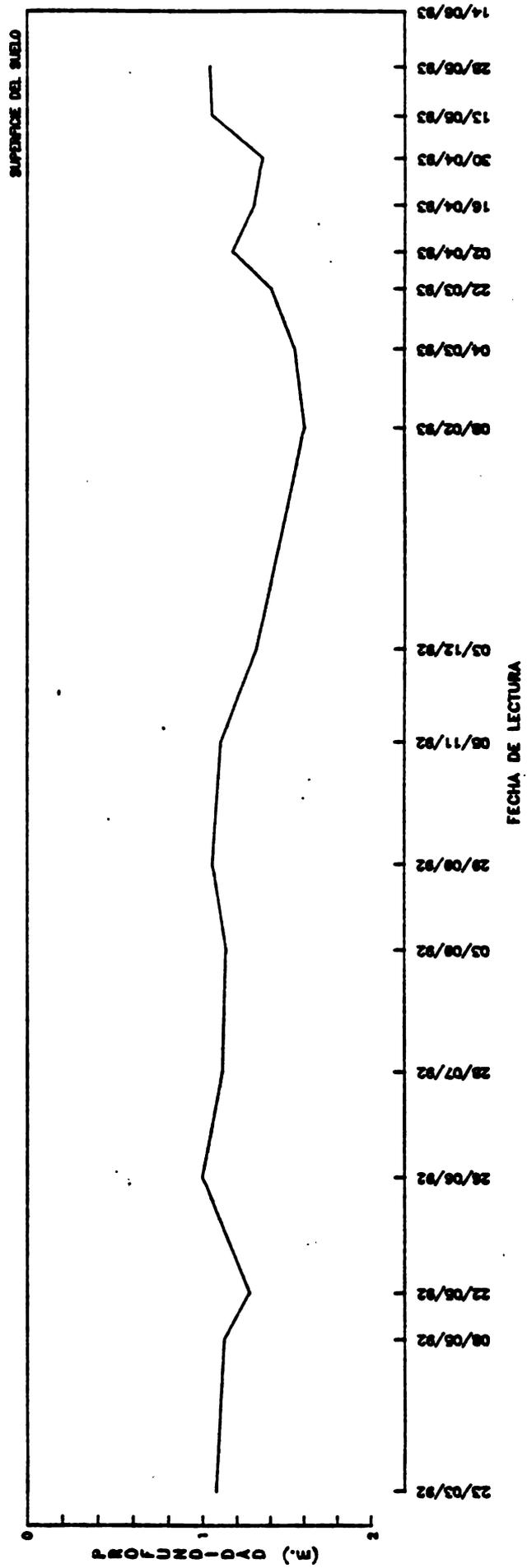
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR CO-1 (LA PACIFICA-DAISA).
POZO DE OBSERVACION P-LP-CO1-F-9**



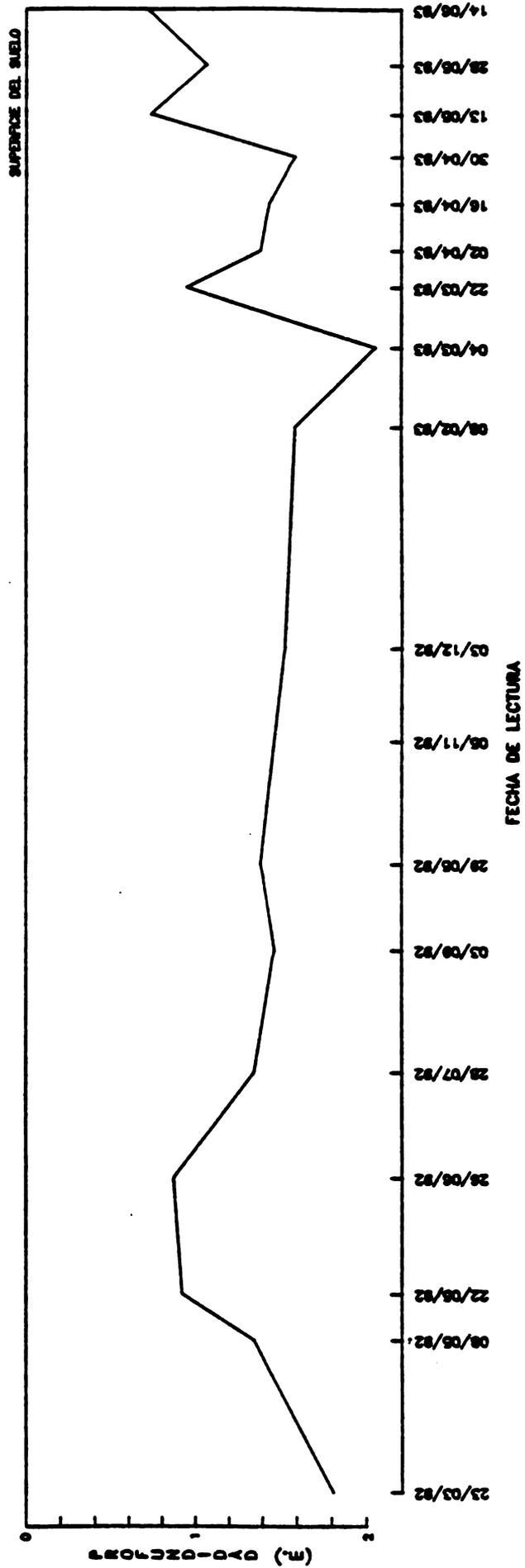
ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR CO-1 (LA PACIFICA-DAISA).
 POZO DE OBSERVACION P-LP-CO1-F-4



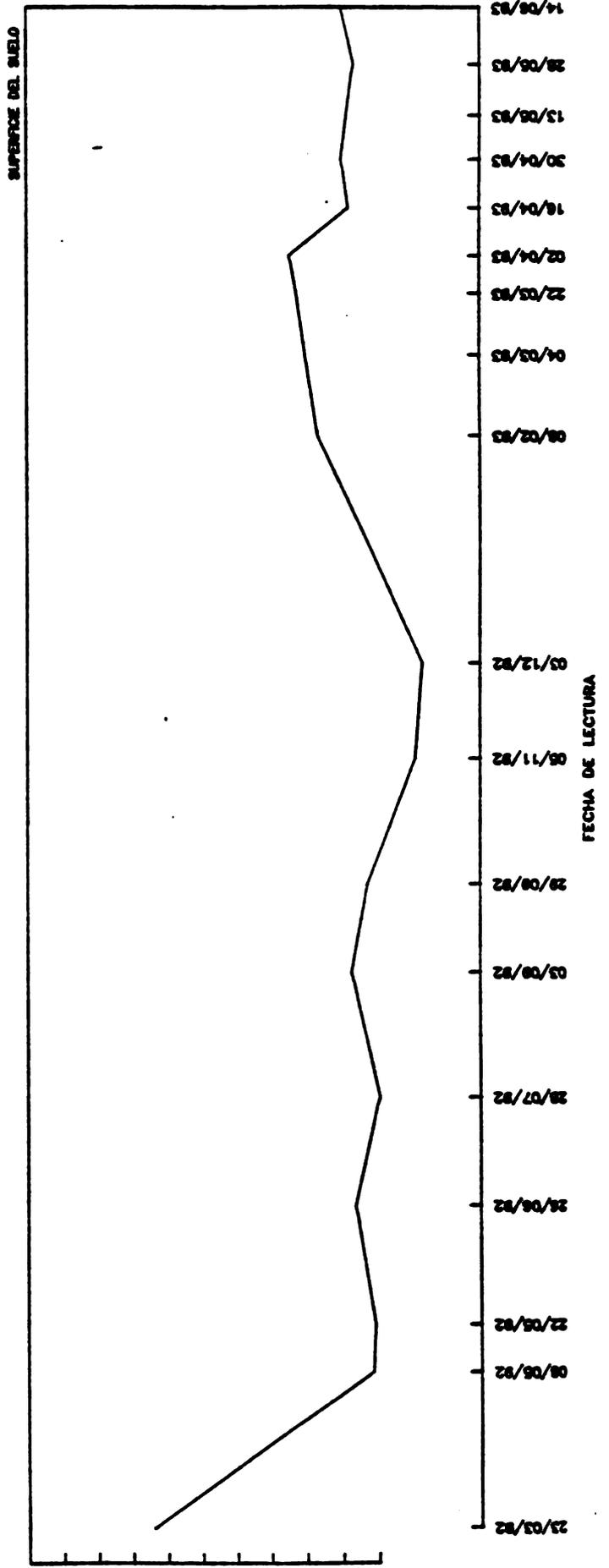
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR SAN LUIS
POZO DOMESTICO DE ROBERTO CAMPOS**



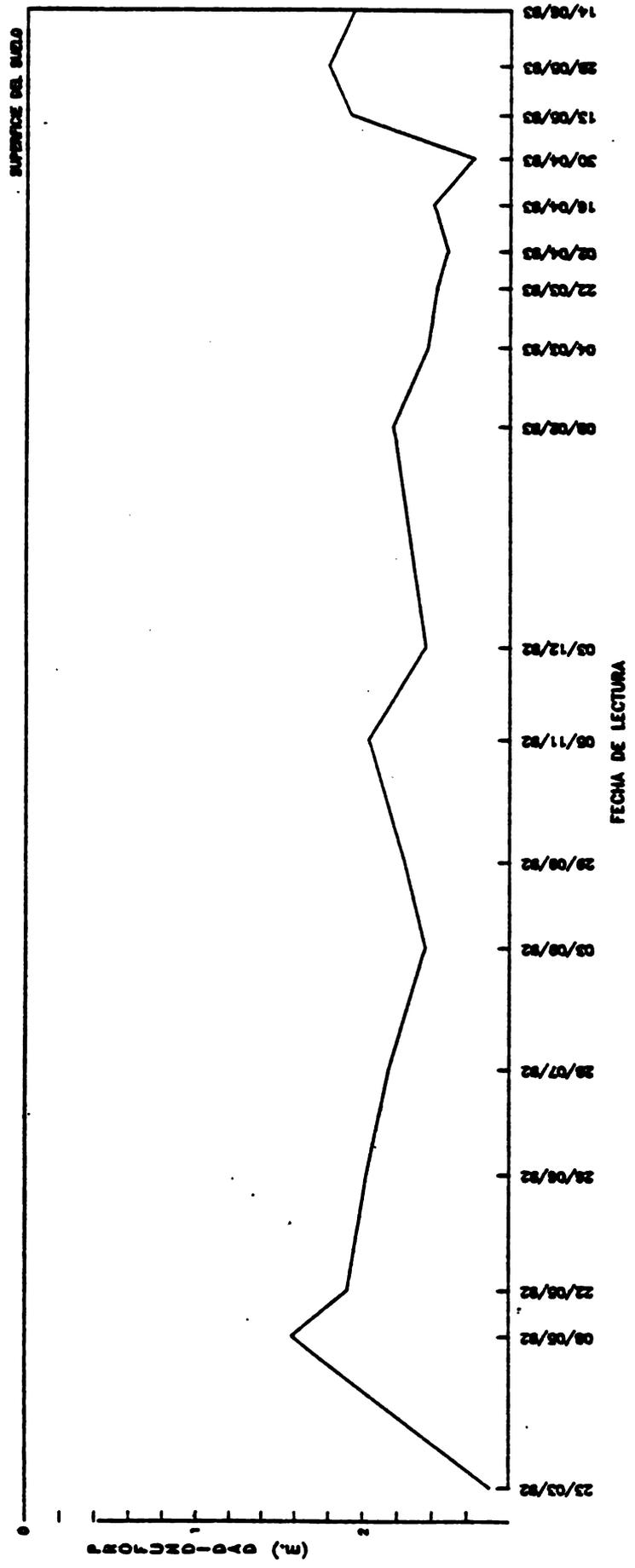
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR SAN LUIS
 POZO DOMESTICO DE RAUL BARAHONA**



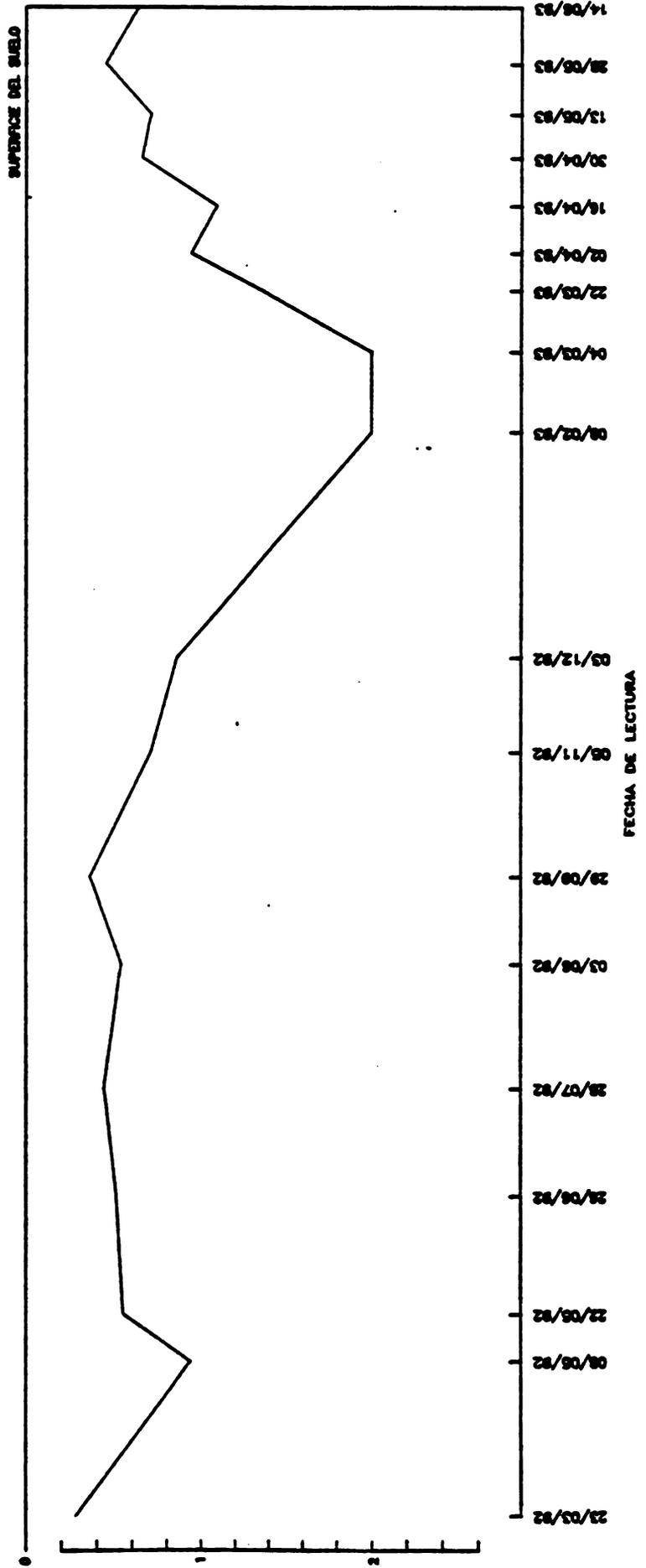
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR SAN LUIS
POZO DOMESTICO DE GERARDO SALGUERA**



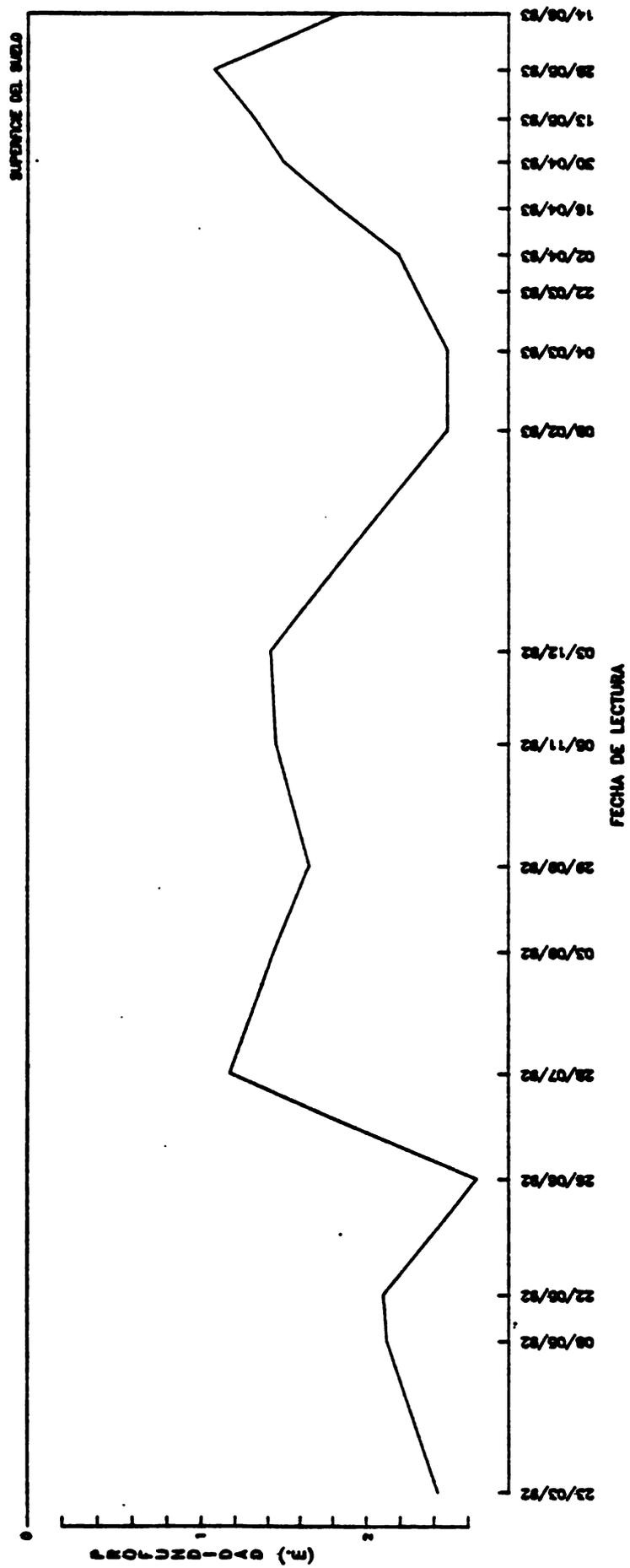
ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR SAN LUIS
 POZO DOMESTICO DE FAUSTINO LOPEZ



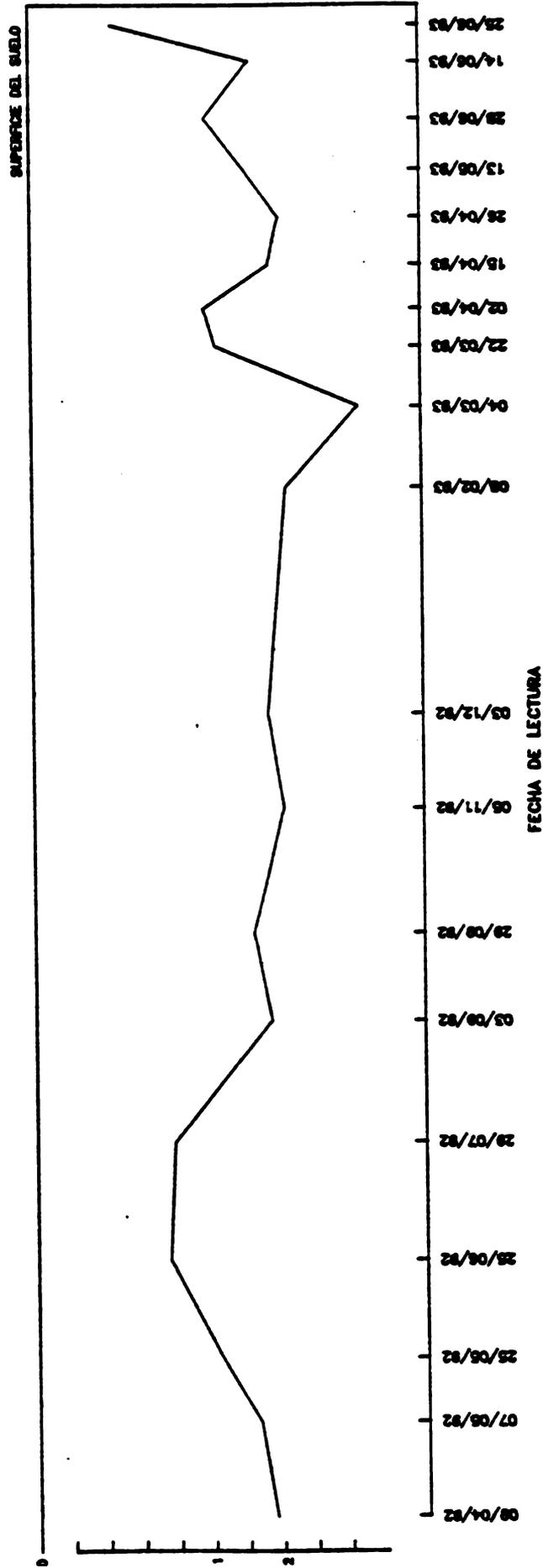
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR SAN LUIS
POZO DOMESTICO DE EDUARDO BASTOS**



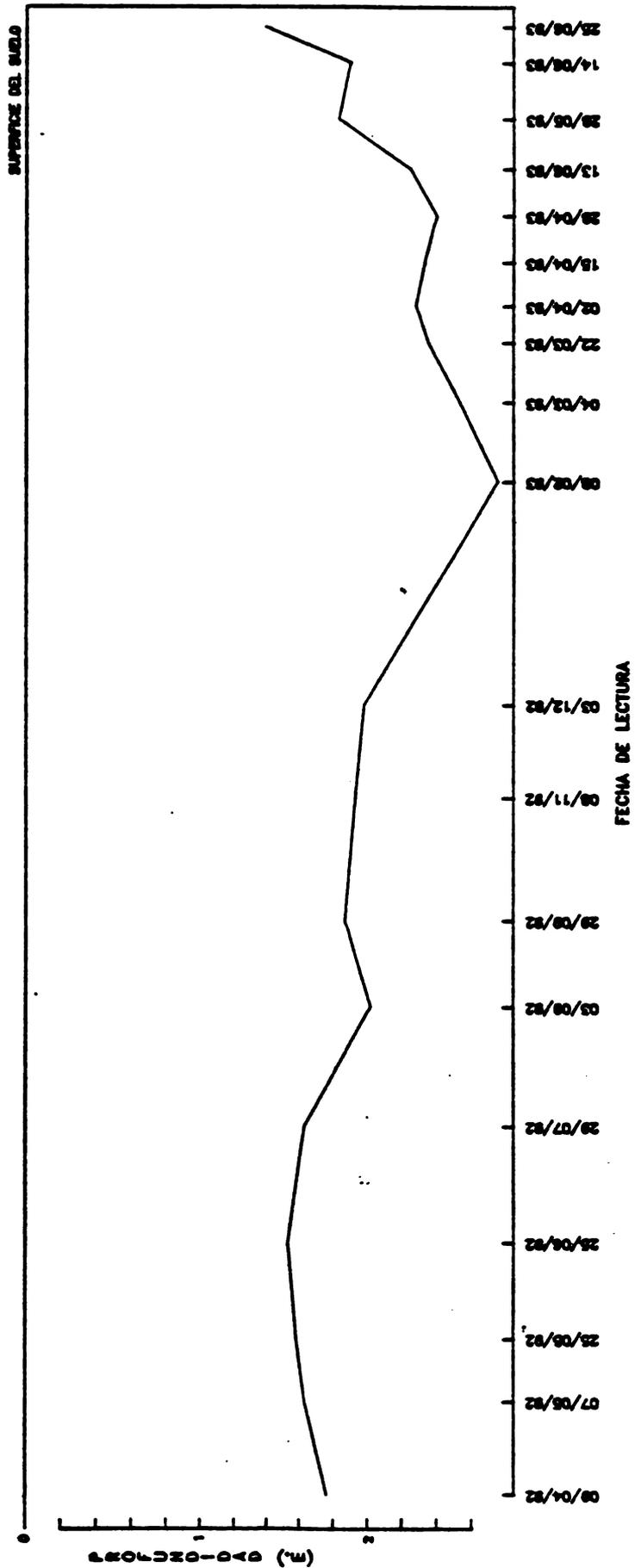
ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR SAN LUIS
 POZO DOMESTICO DE PETRONILA RODRIGUEZ



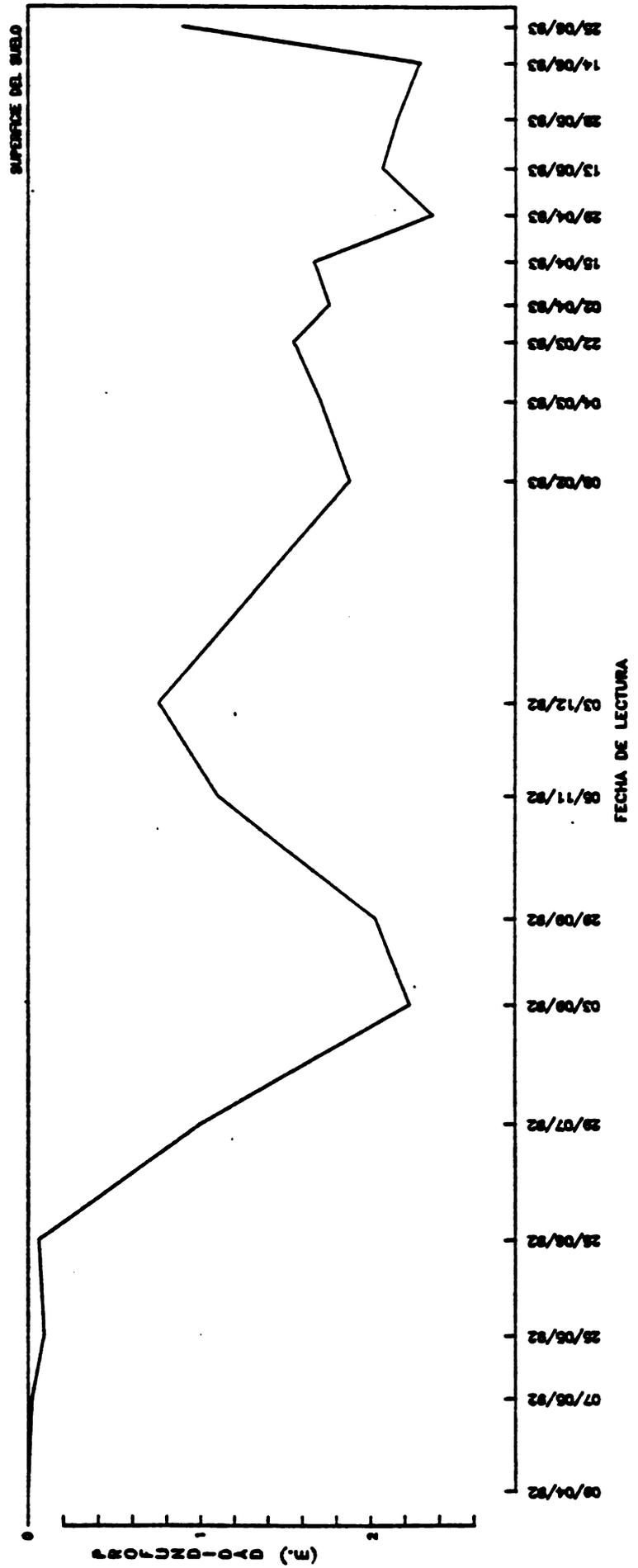
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR PASO HONDO
POZO DOMESTICO DE JUAN HEISSON**



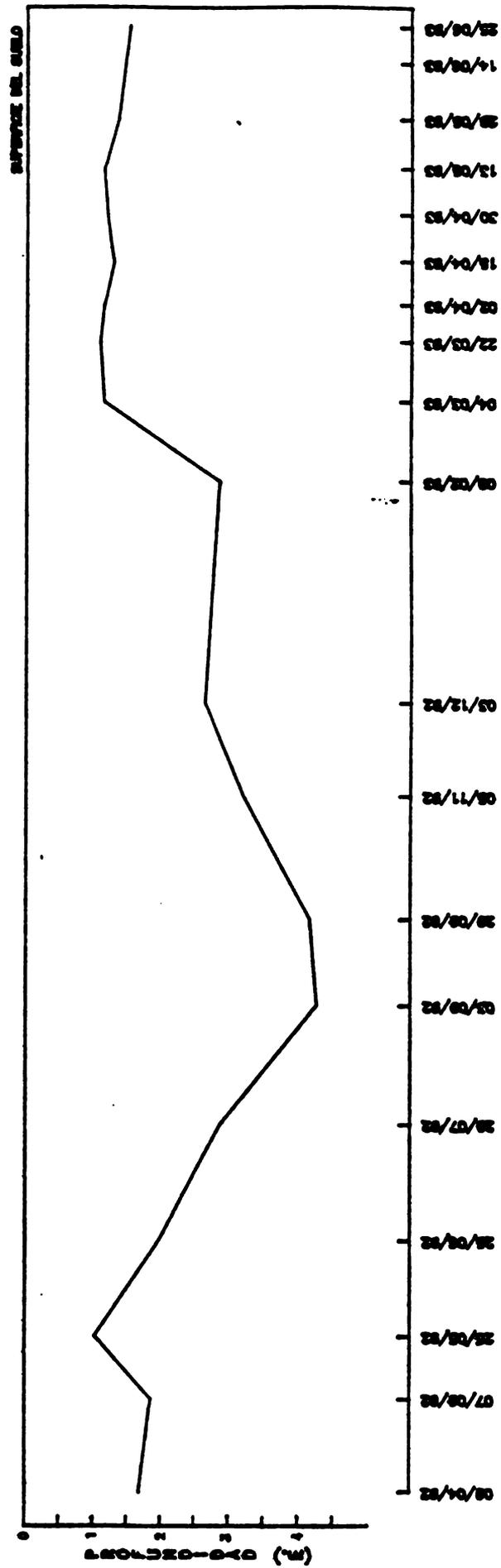
ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR PASO HONDO
 POZO DOMESTICO DE ESCUELA PASO HONDO



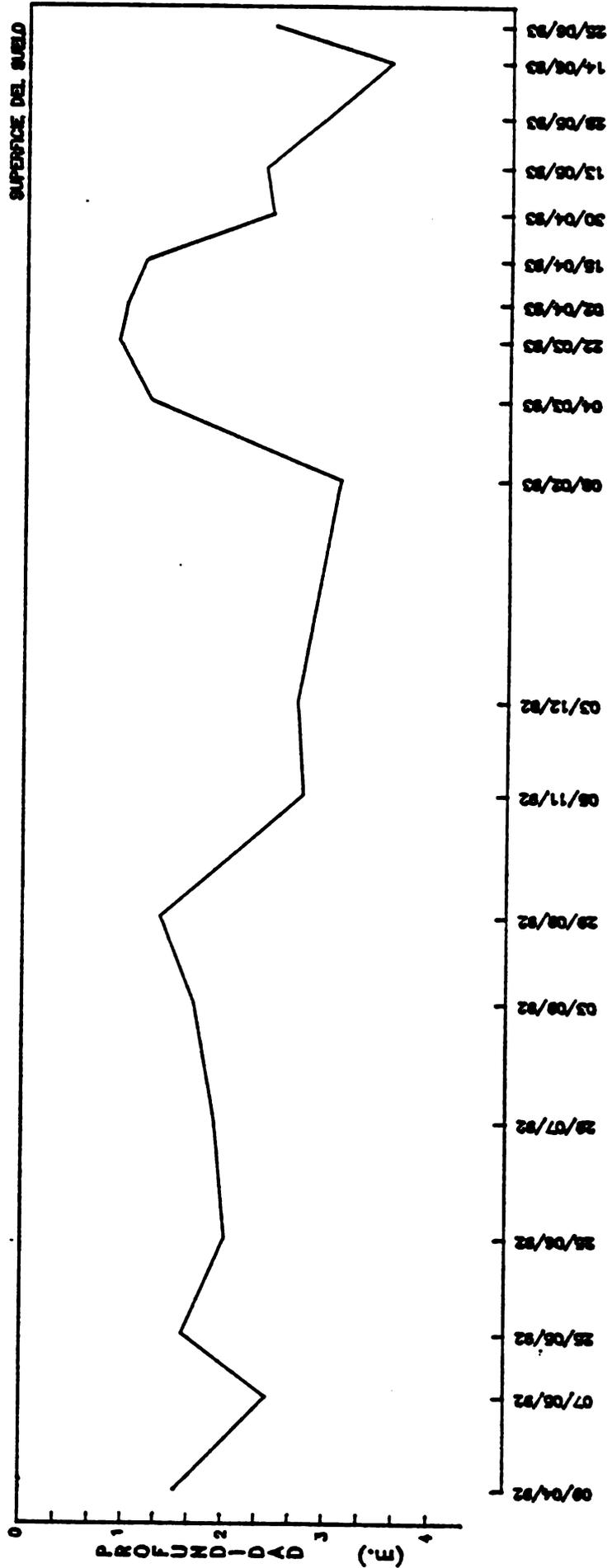
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR PASO HONDO
POZO DOMESTICO DE ALEJANDRO BRICENO**



**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR PASO HONDO
 POZO DOMESTICO DE JOSE MORERA**



ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR PASO HONDO
 POZO DOMESTICO DE JOSE CAMBRONERO



ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR PASO HONDO
 POZO DOMESTICO DE MARCIAL VILLEGAS

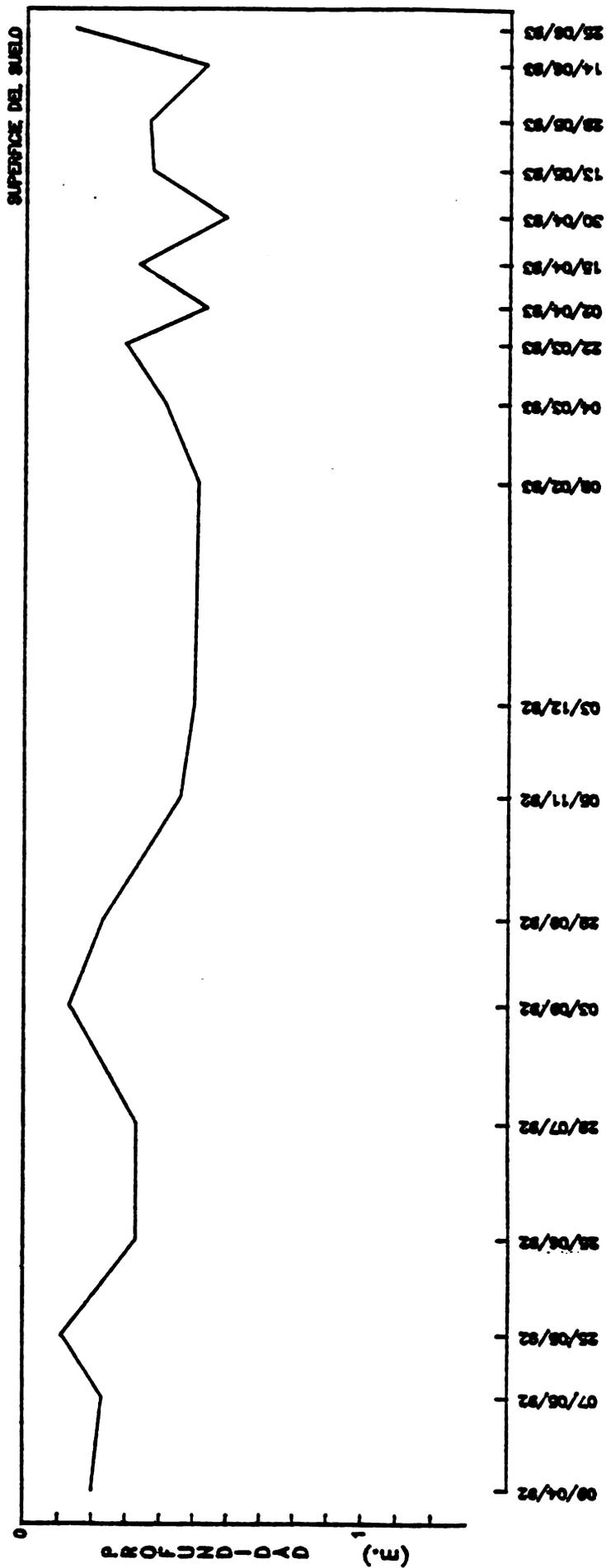
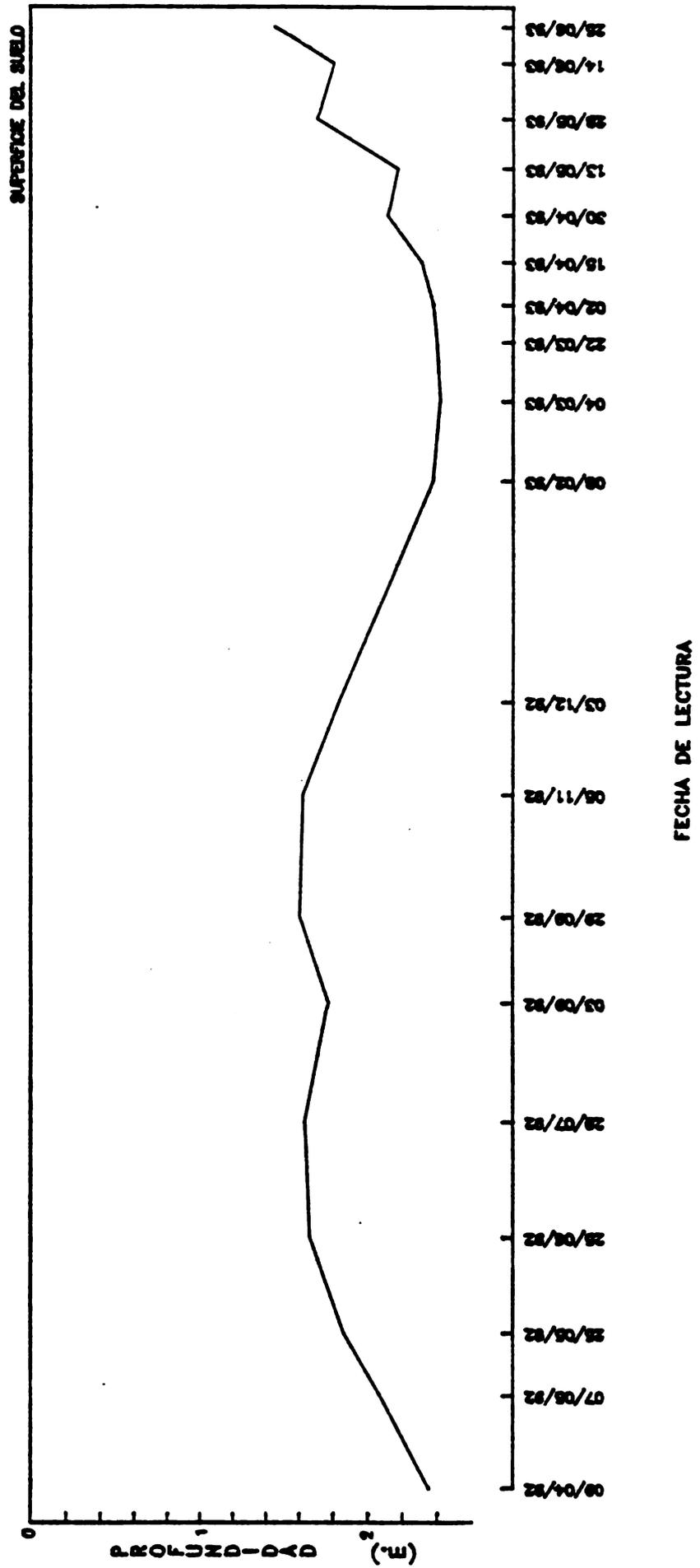
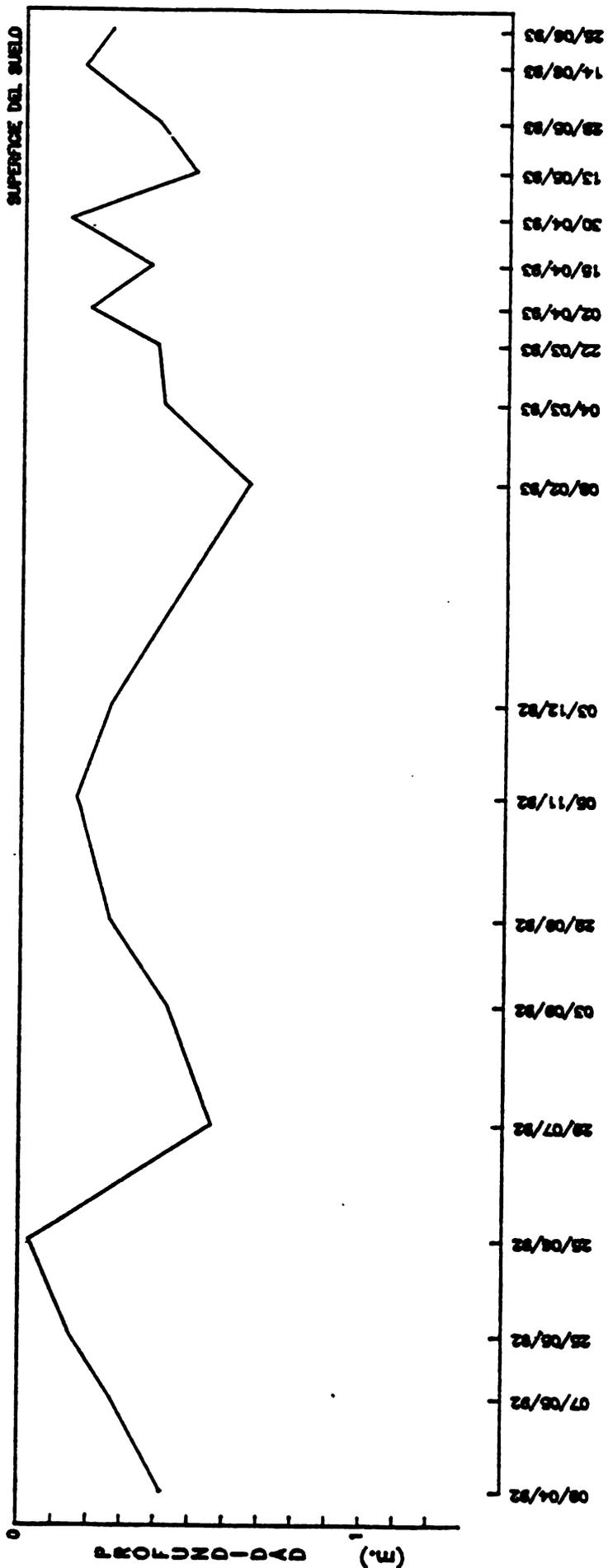


Figura - 16a

**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR PASO HONDO
POZO POTRERO MATERNIDAD DE E.E.E.J.N.**



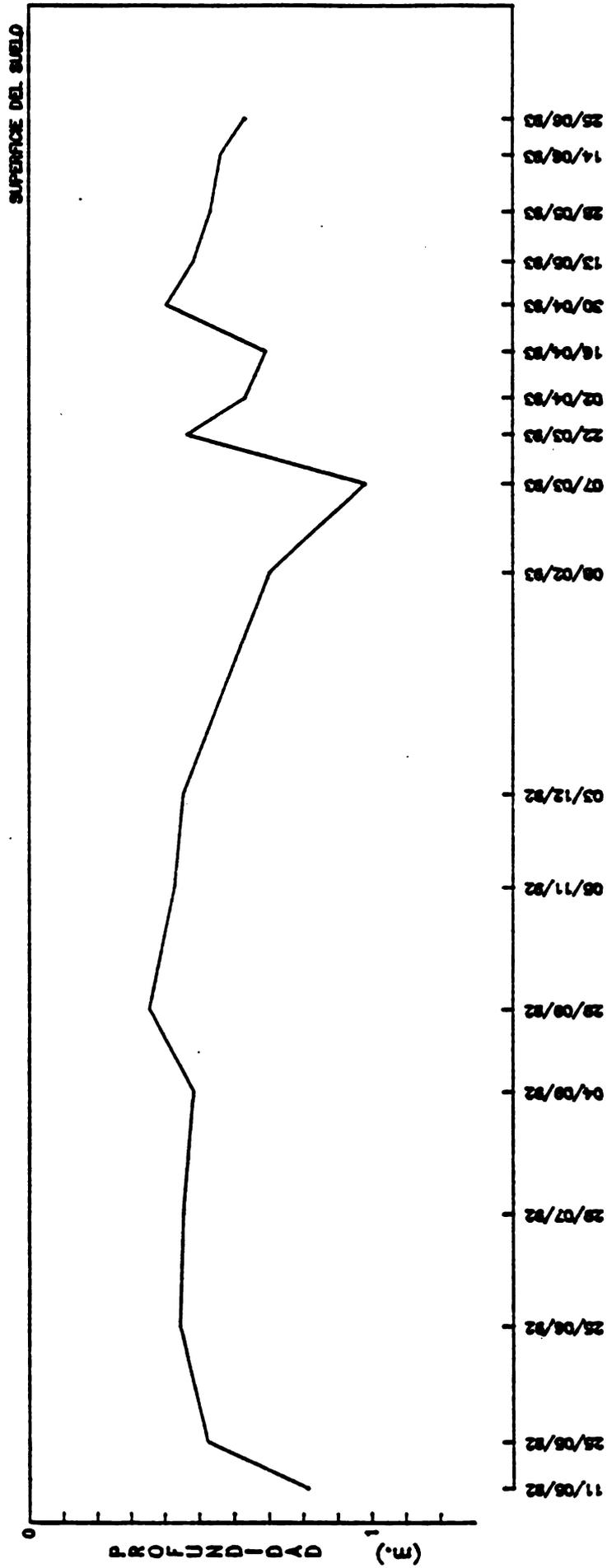
**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
 EN EL DISTRITO ARENAL
 VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
 SECTOR PASO HONDO
 POZO EN POTRERO INVESTIGACION DE E.E.E.J.N.**



FECHA DE LECTURA

Figura - 17 a

**ESTUDIOS DE NECESIDADES DE DRENAJE
EN EL DISTRITO ARENAL
VARIACIONES DEL MANTO FREATICO
SECTOR PASO HONDO
POZO DOMESTICO SAN JUAN**



FECHA DE LECTURA

PROFUNDIDAD (m.)

LA TARIFA VOLUMETRICA EN EL DISTRITO DE RIEGO ARENAL

De acuerdo con el Decreto Tarifario, la contribución de los usuarios del riego, por este concepto, debe de cubrir dos aspectos:

1. La recuperación de la inversión para amortizar el capital que fue necesario para la construcción de las obras del sistema de riego Y
2. Los costos por los servicios de operación, mantenimiento y administración.

Teniendo en cuenta esta norma la Tarifa Volumétrica podría expresarse de la siguiente forma:

$$T = C_1 K_1 A_1 + C_2 K_2 V_2$$

Donde

T = Tarifa de riego o la contribución anual del regante, en colones

K_1 = Monto de la amortización unitaria, en colones

A_1 = No. de hectáreas equivalentes del usuario

$A_1 = A_{p1} + 1.5 A_{g1}$

A_{p1} = Superficie igual o inferior a 20 hectáreas del usuario.

A_{g1} = Superficie superior a 20 hectáreas del usuario

C_1 = Coeficiente de compensación (entre 0 y 1). Tiene en cuenta la contribución del Estado en el pago del préstamo debido al efecto multiplicador de la economía creado por el riego que le permite al gobierno central aumentar sus ingresos por concepto de impuestos, si $C_1 = 0$ los usuarios son liberados de este pago y si $C_1 = 1$; los usuarios pagan íntegramente el costo de las obras. Entre estos valores extremos, C_1 puede tomar valores intermedios de acuerdo con la política que se adopte, en relación con el tipo de usuario y con el período y la forma como se decida alcanzar el pleno pago de la Cuota de Recuperación del Capital (CRI), ejemplo si se establece que los usuarios que poseen hasta veinte (20) hectáreas, contribuyan progresivamente al pago

de la CRI y que al cabo de diez (10) años su contribución sea completa para este caso C_1 tomará los siguientes valores:

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0

Otros ejemplos pueden utilizarse.

$$K_1 = \frac{V_A}{A \cdot P}$$

V_A = Valor actualizado de las obras. (valor actual a amortizar del préstamo), en equivalente en colones

A = Area equivalente total a regar para la cual se ha construido la obra.

En lo referente al Distrito Arenal, este concepto se presta a dos alternativas.

1. Considerar el área equivalente total regable para la cual se ha dimensionado las obras por ejemplo Canal del Sur 30m³/s, para regar los subdistritos de Cañas, Lajas y Abangares (15.000 Ha.), o

2. Tener en cuenta sólo el área equivalente que realmente se riega. En esta alternativa los usuarios estarían pagando por obras sobredimensionadas.

$$A = A_p + 1.5 A_g$$

A_p = Suma de las áreas de los propietarios que poseen veinte (20) o menos hectáreas.

A_g = Suma de las áreas en exceso, de veinte (20) hectáreas de los propietarios que poseen más de veinte (20) hectáreas.

P = Período de amortización de V_A , en años, el número de años que faltan para amortizar V_A .

K_2 = Valor unitario volumetrico, en colones para pagar los costos de los servicios de operación, mantenimiento y administración, en colones.

V_2 = Unidades de volumen de agua recibidos por el usuario

C_2 = Coeficiente de progresión de la agricultura de regadío, su valor varía entre 0 y 1. Tiene en cuenta la contribución del estado para ayudar al regante, durante el periodo de transición, a lograr el nivel de máximo beneficio de la actividad agropecuaria de su parcela. Entre los valores extremos señalados C_2 puede tomar los valores intermedios según la política de desarrollo agropecuario que se establezca. Por ejemplo si se considera un periodo de transición de diez años con incrementos anuales linealmente distribuidos C_2 tomaría los valores siguientes.

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.10

$$K_2 = \frac{C_T}{V_N}$$

C = Costo total anual de los servicios de operación, mantenimiento y administración.

V_N = Número de unidades de volumen de agua derivadas para el riego.

$$V_N = \frac{V_T}{15000 \text{ m}^3}$$

V_T = Volumen total de agua derivado para el riego.

Se considera que 15000 m³ es el volumen que permite obtener en el Distrito Arenal, una cosecha de caña de azúcar.

Teniendo en cuenta que la agricultura de regadío cumple una función social y que los costos del funcionamiento del sistema son permanentes, la tarifa mínima a pagar por el usuario es aquella que considera CRI (C_1 K_1 A_1) y la cuota de operación, mantenimiento y administración. COM (C_2 K_2 V_2), donde V_2 supone un consumo de 15000 m³ por hectárea equivalente

ELEMENTOS DE BASE EMPLEADOS:

- Veinte (20) hectáreas es el límite que separa a los pequeños de los grandes usuarios, esa es la superficie que permite obtener ingresos que otorguen bienestar a una familia, que trabaja intensivamente la tierra, en agricultura de regadío, sin subvenciones. De este modo se consideran grandes consumidores a los productores que poseen más de veinte (20)

- Quince mil (15000) m³, con una eficiencia de un 80% es equivalente a un consumo neto de 12000 m³ los que usados apropiadamente y con el complemento de la lluvia deben favorecer la obtención de una cosecha con el máximo rendimiento.

- La superficie de un propietario, en exceso de veinte (20), hectáreas, en razón de sus mayores ingresos debe contribuir a cubrir, en una proporción de 1.5 veces los costos de la inversión para la construcción de las obras.

SUGERENCIAS:

- La Dirección de Planificación de SENARA debe de dictar las normas para calcular anualmente, el valor actualizado de V_A. Igualmente deben de dictarse las reglas claras para determinar las necesidades óptimas de operación, mantenimiento preventivo y administración que conduzca a los costos mínimos.

- Sería muy útil para el Distrito de Riego Arenal agregar al monto de la tarifa que resulte de la aplicación de la expresión que hemos presentado dos componentes.

1. Un porcentaje del valor calculado (10%) que será usado como fondo de reserva para hacer frente a situaciones de emergencia o imprevistos o en su defecto para introducir mejoras de bien común para los regantes del sistema.

2. Un porcentaje del valor calculado (10%) que se empleará para cubrir los costos de la asistencia técnica y de la investigación agrícola.

- La puesta en vigencia de la tarifa volumétrica requiere que haya una medición permanente de los volúmenes de agua derivados para el área de riego y de lo recibido por los usuarios, lo que implica la instalación de estaciones limnimétricas y limnigráficas,

- De acuerdo al padrón de usuarios vigente en el Distrito Arenal hay 187 usuarios que manejan superficies iguales o inferiores a 20 hectáreas en un área de 1712.99 hectáreas o sea el 30.18%. Mientras que son 34 usuarios que trabajan superficies mayores a 20 hectáreas en una área 3962.20 hectáreas o sea el 69.82 % de la tierra bajo riego, 34 son grandes consumidores de agua.

- Los costos de los servicios de operación, mantenimiento y administración deben de permitir el funcionamiento óptimo del sistema de riego lo cual exige un mantenimiento preventivo.

- Con el propósito de aumentar la eficiencia en el uso del agua de riego debe de emplearse penalidades progresivas en el cálculo de la COM a los usuarios altamente consumidores de agua por ejemplo entre 15000/m³ y 20000 m³ se afectará un coeficiente de 1.1, entre 20001 y 30000 el coeficiente será 1.2, entre 30001 y 40000 el coeficiente será 1.3. La suma anual que se recaude por este concepto se empleará para.

1. Diseño y construcción de obras de medición de caudales
2. Introducir mejoras en los servicios a los usuarios.
3. Sufragar gastos de comunicación a los usuarios. (asambleas anuales, boletín informativo, etc.)
4. Premiar a los usuarios eficientes en el uso del agua.

LA TARIFA VOLUMETRICA EN EL CASO DE UTILIZACION DE AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO DEL DISTRITO ARENAL EN PISCICULTURA.

Generalidades

La piscicultura en el caso que nos ocupa solo consume un pequeño porcentaje del agua que recibe porque aguas abajo el caudal se devuelve al Canal CS-10-1, sin embargo, el caudal es vital para el éxito de la actividad, por esa razón parte de los beneficios debe de servir para retribuir los costos de hacer disponible el agua para la piscicultura.

La evaporación anual, en la zona, en los últimos cuatro (04) años ha sido.

1988	1989	1990	1991	SUMA	X
2222.61	2364.63	2365.61	2309.23	9261.63	2315.4

La infiltración básica puede estimarse en 10 mm/día o sea 3650 mm. anuales.

El consumo anual por estos conceptos es de 5.965.4 mm. o sea un volumen anual de agua de 59654 m³/Ha. lo que es equivalente a 3.976 unidades de consumo de agua eso significa que:

Una hectárea de piscicultura equivale a 3.976 hectáreas de agricultura de riego.

Eso quiere decir que en el momento actual la granja piscícola debe contribuir con un monto que será 3.976 veces mayor que la tarifa de un usuario de agricultura de regadío de Paso Hondo en otros términos; las 40 hectáreas de acuacultura son equivalentes a 159 hectáreas de agricultura de regadío. Para la asignación de áreas se tendrá que:

$$A_p = 20 \text{ Ha. y } A_a = 139 \text{ Ha.}$$

Si en algún momento se revisten las pozas, la infiltración se reducirá y puede alcanzar valores de 2 mm/día o sea 730 mm. anuales y en tal caso el consumo anual será de 3045.4 mm o 30454 m³ / Ha. lo que equivale a 2.03 unidades de consumo de agua y las 40 hectáreas de acuacultura equivaldrán a 81.2 Ha. de agricultura de regadío. Para la asignación de área se tendrá:

$$A_p = 20 \text{ Ha. y } A_a = 81.2 \text{ Ha.}$$

Para profundizar sobre los consumos de agua por la piscicultura es necesario instalar una estación hidrométrica a la entrada y otra a la salida, eso le dará mayor precisión a las estimaciones aquí presentadas.

Si en adelante se estableciesen usuarios del agua de riego, para fines diferentes de la agricultura de regadío, la estimación del volumen consumido deberá tener en cuenta la posibilidad de reutilización o no del agua por el sistema de riego y para fijar la tarifa se harán los estudios pertinentes.

CONVENIO IICA-SENARA

EVALUACION DEL PROYECTO DE RIEGO

ARENAL-TEMPISQUE

I ETAPA

SENARA-IDA-MAG/EEEJN-CNP-BNCR-UCR-ICI-IICA

(Circulación restringida)

Diciembre 1991

Cañas, Guanacaste, Costa Rica

ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS TECNOLÓGICOS

A. CONCLUSIONES

El análisis de la información que hemos presentado, así como nuestra reflexión sobre el tema de la tecnología, nos conduce a orientar las conclusiones en dos direcciones: la primera según la agricultura de regadío en sí y la otra según las técnicas agronómicas.

Tecnología de riego

- Con referencia a la agricultura de regadío, debe reconocerse la transformación técnica-económica introducida por el riego. En este sentido los proyectos-pilotos, independientemente de los costos y beneficios monetarios han mostrado que el agua es un insumo-capital en la producción agrícola y que tiene un poder generador de trabajo y de bienestar.

- Los agricultores han aprendido a manejar el agua (aunque queda mucho por hacer sobre su uso eficaz y eficiente) y su aplicación al suelo ha aumentado los rendimientos promedio: en arroz de 3 a 5 TM/ha. y en caña de azúcar de 40 a 75 TM/ha. Además el riego ha aportado seguridad a la obtención de dos cosechas por año y al uso de otros insumos cuya acción conjunta ha elevado los rendimientos. Debe trabajarse en la optimización de los insumos tanto en cantidad, forma y época de aplicación, en relación con la fenología del cultivo.

- Los déficits hídricos en la caña de azúcar se han eliminado, pero el manejo del riego requiere ser mejorado. La caña de azúcar necesita aireación, para lo cual el drenaje es vital. El riego por surcos es el apropiado para regar este cultivo y sus ventajas deben mostrarse a los agricultores para lograr su aceptación. Actualmente en muchos terrenos la caña de azúcar se riega por inundación.

- En el caso del proyecto piloto Bagatzi, los elementos suelo-agua-planta-ambiente se utilizan armoniosamente en agricultura de regadío, porque el arroz, cultivo anaeróbico, requiere de una lámina de inundación y los suelos vertisoles son altamente retentivos. En los otros proyectos hay necesidad de programar esa coherencia para que la agricultura intensiva de regadío sea conservacionista.

- Los agricultores aprecian la nivelación como una condición de la parcela que favorece el aprovechamiento del agua. Por ese motivo, con bastante frecuencia los productores para el arroz adecúan sus terrenos con bancales nivelados, con bordos o curvas a nivel con emparejamientos y para la caña de azúcar uniformizan las pendientes y disminuyen las longitudes de riego.

- Las siembras de arroz húmedo (fangueo) y el control de malezas con láminas de agua son parte de la adquisición tecnológica de los productores del Distrito para mejorar la relación agua-suelo-plantas.

- En el Distrito se ha creado una cultura de riego que ha favorecido la capacitación de profesionales en esta disciplina a diferentes niveles: maestrías, licenciatura, bachilleratos, diplomados de colegios universitarios, asistentes a seminarios, charlas, cursos organizados por el Instituto Nacional de Aprendizaje. Igualmente los centros de capacitación se han esforzado por mejorar la calidad de la enseñanza profundizando los contenidos de los cursos, ampliando y mejorando los laboratorios.

- Algunos beneficiarios se han esforzado por lograr diplomas en áreas agrícolas (agronomía, ingeniería agrícola) lo que los transforma en empresarios con dedicación exclusiva a la actividad agrícola.

- El SENARA, en su preocupación de capacitar a su personal para ofrecer buen servicio de asistencia técnica, ha enviado al extranjero a buen número de sus profesionales, otros han asistido a cursos de perfeccionamiento en el país y se han contratado los servicios, por dos años, de tres (3) Consultores Especialistas en Desarrollo Rural y en Extensión e Investigación en Riego y Drenaje, que también capacitan al personal de la Institución.

- Algunos beneficiarios interesados en profundizar sus conocimientos sobre la agricultura de regadío han seguido cursos en el INA.

Tecnología agrícola

- En lo que respecta a la tecnología agrícola debe resaltar el conocimiento implícito que poseen los productores de los cultivos de arroz, caña de azúcar y pastos, lo que los ha conducido al nivel de productividad y producción en que se encuentran. La tecnología adquirida proviene de la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (variedades y fertilización) y de fincas grandes

que trabajan en la provincia, tales como El Pelón de la Bajura y Ranchos Horizontes (manejo de agua, fechas de siembra, control de plagas y enfermedades). Estos últimos reciben información del extranjero (Colombia).

- La diversificación de los cultivos es muy escasa, hay una alta preferencia por la caña de azúcar y el arroz con dos ciclos por año, es decir sin alternancia ni rotación de cultivos, lo cual agronómicamente no es recomendable.
- La Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez no ha recibido la ayuda necesaria para realizar las tareas que se le han encomendado, y sus investigaciones en agricultura de regadío todavía no han dado resultado. Además, la gran mayoría de los programas de investigación no consideran el componente riego como prioritario y a la fecha desarrollan la investigación sólo en secano.
- A pesar de que se reconoce la importancia de la validación de la tecnología de cultivos, ésta no ha recibido la prioridad que merece por lo que no existen componentes tecnológicos que puedan recomendarse a los pequeños agricultores. Especialmente se necesitan recomendaciones explícitas en hortalizas, frutales y granos básicos.
- Para favorecer una actividad agrícola rentable deben ponerse en funcionamiento mecanismos que regulen las prácticas que protejan el bien común, tales como la uniformidad en las épocas de siembra que ayuda a lograr un uso eficiente del riego y que da lugar al incremento de organismos patógenos.

El uso indiscriminado de herbicidas hormonales impide la diversificación de cultivos y afecta a los productores que desean sembrar cultivos no tradicionales, como hortalizas.

- Para apoyar la diversificación de la agricultura de regadío y proteger la actividad agrícola, es necesario por un lado que se encuentren canales de comercialización para vehicular la producción, y por otro se clasifiquen los créditos para que éstos se otorguen en concordancia con la actividad a financiar y con el interés y la duración pertinentes. Así se incentivará al agricultor a adecuar la finca y a cultivar aquello que resolviendo los problemas del país, le sea rentable.
- Los beneficiarios de las posteriores etapas de incorporación a la agricultura de regadío en el Distrito Arenal contarán con una base tecnológica más sólida que aquella que recibieron los productores de la primera etapa. En este sentido los proyectos piloto han cumplido con sus

objetivos. Sin embargo, no debe descuidarse la generación de tecnología, su validación y transferencia. En este aspecto aún queda mucho por hacer para lograr el uso óptimo de los recursos de la producción agrícola del Distrito. Es importante desarrollar y fomentar sistemas productivos diversificados que cumplan con los objetivos de: aumentar los beneficios de los productores, optimizar el aprovechamiento de la gran inversión que ha hecho el país y conservar los recursos y el medio ambiente.

Investigación Agrícola.

Es urgente cambiar la orientación de la EEEJN e iniciar la obtención de información, asegurando su validación y transferencia para guiar el conocimiento de la cultura del riego, para lo que es necesario que:

- La Estación Experimental se comprometa a priorizar sus investigaciones agrícolas donde el principal componente sea el riego.
- Se dirija la investigación hacia la economía de agua, determinándose para cada cultivo la función de producción.
- Se haga en la Estación Experimental una granja modelo en riego donde se realice tanto la investigación básica como la validación. (Esto es posible en las 311 has. regables que dispone la EEEJN).
- Para que la EEEJN cumpla a cabalidad con sus responsabilidades se requiere dotarla de los recursos necesarios: humanos (nivel superior, intermedio y de campo); presupuestos operativos que le permitan trabajar con autonomía (la investigación es una inversión); el equipo y el laboratorio, la maquinaria, los implementos agrícolas, el taller; para que todos contribuyan a disponer de los medios para efectuar saludablemente la investigación. No se puede esperar resultados si no se dan los medios que se requieren.
- La Estación Experimental debe tener en cuenta que debe ser líder del manejo eficaz y eficiente del agua y del resto de componentes tecnológicos para que se predique con el ejemplo.
- Por otra parte es urgente que se incorpore al riego la superficie que tiene infraestructura para ese fin y ello ayude a autofinanciar la investigación.

La validación y transferencia de tecnología

Con el propósito de lograr los mejores rendimientos de los cultivos que actualmente se trabajan en los proyectos piloto para armonizar la agricultura permanente y para que la actividad agrícola sostenible sea rentable, es conveniente reunir, analizar y preparar los componentes tecnológicos en uso en arroz, caña de azúcar y pastos bajo riego y validarlos en las parcelas de los medianos y pequeños productores, con intervención de los investigadores especialistas, los extensionistas y los usuarios respectivos. Probadas y corregidas las técnicas agronómicas se hará la transferencia a los niveles indicados de los productores con la participación muy activa de los extensionistas y de los productores interesados.

Igualmente se deben establecer todos los mecanismos para ofrecer a los usuarios del proyecto Arenal-Tempisque otras alternativas agrícolas rentables, que exploten de manera racional y conservacionista las ventajas comparativas de la zona (establecimiento de granos básicos, hortalizas, frutales).

La diversificación de los cultivos y de los ingresos puede verse favorecida también por la implantación de la agroindustria (se requieren los estudios pertinentes). En la extensión agrícola, en el Distrito Arenal, se requiere de manera urgente el apoyo institucional que otorgue seguridad a la actividad agrícola.

No hay una programación para la recolección de datos estadísticos que orienten la toma de decisiones

En el futuro, para obviar esta dificultad y concordancia con los usuarios, deben elaborarse los formularios de colección de datos poniendo énfasis en la constancia y en la veracidad de su llenado. La ficha de regantes y el formulario de inscripción en el plan de riegos con instrumentos adecuados para cumplir este cometido, su existencia y su actualización debe ser imperativo para el Distrito. Esta parte puede encargarse al Departamento de Desarrollo. La hidrometeorología puede ser confiada al Departamento de Operación y Mantenimiento.

El mantenimiento de la infraestructura de riego es parcialmente preventivo

Para resolver este problema hay que dotar al Departamento de Operación y Mantenimiento del Distrito tanto del presupuesto como del personal necesario para que desde ahora se familiarice con el trabajo preventivo, elabore los

presupuestos, programe sus actividades, así como la ejecución de las reparaciones. También debe considerarse que el equipo y la maquinaria que se emplea para el servicio de mantenimiento tienen un período de vida y requieren de sus propias inspecciones y de sus evaluaciones económicas para su remplazo.

La necesidad de los estudios de drenaje y salinidad

La Dirección y el Departamento de Desarrollo del SENARA y del Distrito Arenal, junto con los Consultores de Extensión en Riego y de Investigación, ha programado actividades para darle solución a esta limitación, lo cual incluye la capacitación del personal en drenaje y salinidad, la instalación de pozos de observación y piezómetros, la compra de sondas eléctricas para el monitoreo de los niveles freáticos, la instalación de pluviógrafos para hacer estudios de intensidad, la adquisición de conductímetros para estudiar la calidad del agua tanto de riego, de drenaje y del nivel freático. En el seno del SENARA hay conciencia de la necesidad de estudiar estos aspectos de la agricultura de regadío; se requieren los medios para obtener la información básica que oriente nuestras decisiones.

B. RECOMENDACIONES

Pérdida del valor del agua como insumo de la producción agrícola

La solución de este problema depende de la restricción del agua, lo cual por el momento es difícil de realizar, porque el área por regar es pequeña, en comparación con la capacidad de los canales y con el caudal que conducen. Sin embargo, es necesario conocer las necesidades de riego de los cultivos, la capacidad de retención de humedad del suelo, así como los otros componentes técnicos del riego.

Para mejorar la operación del Distrito los canales deben estar dotados de una curva de calibración que relacione el caudal con el tirante y provistos de una compuerta con su candado para fijar el caudal y el tiempo de riego. Para hacer sentir la escasez del agua hay que aumentar la superficie regada y obligar al usuario a incrementar la eficiencia del agua. Se debe emplear métodos de capacitación y la adecuación de la tarifa en forma permanente hasta llegar a que la eficiencia sea la forma de pagar el agua a través de la tarifa volumétrica de manera que el regante cuide el consumo de agua porque la suma a pagar aumenta con el consumo.

La operación del sistema de riego es empírica

Para resolver esta situación es imperativo calibrar las secciones de los canales e instalar los linímetros para conocer en cualquier momento los caudales que circulan y los que debemos derivar a otros canales según las disponibilidades y la superficie por regar. También hay que calibrar las compuertas para cuantificar las entregas de agua a las parcelas y medir el tiempo de uso del agua.

Es muy importante para la conservación de los recursos agua-suelo que haya un control de los volúmenes aplicados porque el suelo es un reservorio limitado, sujeto a pérdidas tanto por percolación como por evaporación y que el agua dentro del suelo está en continuo movimiento.

Baja eficiencia de utilización del agua

Para resolver este inconveniente es necesario instalar las acequias regaderas provistas de un limnómetro para determinar el caudal de entrada y según la capacidad de distribución de agua, en el perfil del suelo se requiere dominar el manejo del caudal de aplicación. El largo y ancho del lote de riego, la pendiente longitudinal, la profundidad de humedecimiento, en relación con la textura del suelo determina el caudal de aplicación. Estas relaciones son conocidas; debemos ponerlas en práctica, introducir las modificaciones pertinentes para reducir los desperdicios de agua.

El plan de riegos y la diversificación de cultivos

La solución de este problema debe buscarse en el estudio integral de los cultivos que incluya tanto las técnicas agronómicas, la conservación, el procesamiento, así como, la comercialización para asegurar la rentabilidad. Las diferentes instituciones responsables deben aunar sus esfuerzos y sus disponibilidades para proponer a los productores de las nuevas tierras regar las alternativas agrícolas apropiadas.

No hay asociación de regantes funcional

Para resolver este inconveniente, SENARA puede emplear sus dispositivos legales y su personal especializado en sociología y antropología, para persuadir a los usuarios a organizarse. El Departamento de Desarrollo del Distrito Arrenal debe preparar las invitaciones y convocar a las reuniones necesarias haciendo entrega a cada miembro de todos los documentos que norman el comportamiento del usuario tales como: Ley de

Creación del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), Ley General de Aguas, Ley de Creación del Distrito Arenal, Reglamento del Servicio de Riego en el Distrito de Riego Arenal, Reglamento Tarifario..

Con una buena dinámica participativa y la comprensión de sus funciones los usuarios aceptarán con facilidad sus responsabilidades, lo cual redundará en grandes beneficios para el país.

CONVENIO IICA-SENARA

II ETAPA DEL PROYECTO DE RIEGO ARENAL TEMPISQUE

**REFLEXIONES SOBRE EL RIEGO Y DRENAJE
EN LA DIVERSIFICACION DE CULTIVOS EN EL
AREA DE LA SEGUNDA ETAPA DEL PROYECTO
DE RIEGO ARENAL-TEMPISQUE**

Por

H. Pizarro

Ley de Préstamo 208-IC-CR

**BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
FONDO DE INVERSION DE VENEZUELA**

MAYO 1992

REFLEXIONES SOBRE EL RIEGO Y DRENAJE EN LA DIVERSIFICACION
DE CULTIVOS EN EL AREA DE LA SEGUNDA ETAPA
DEL PROYECTO DE RIEGO ARENAL TEMPISQUE

TABLA DE CONTENIDO

		NO. PÁG.
I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	LA AGRICULTURA DE REGADÍO DIVERSIFICADA, CONSERVACIONISTA Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE.	4
III.	JUSTIFICACIÓN DE LA DIVERSIFICACIÓN	5
IV.	NECESIDAD DE INVESTIGAR "IN SITU" CON LOS CULTIVOS Y SUS COMPONENTES TECNOLÓGICOS, CON EL FIN DE CONTAR CON SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PROBADOS PARA LOS BENEFICIARIOS DE LA II ETAPA.	5
V.	EL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN LOS PROYECTOS DE LA I ETAPA.	6
VI.	LOS CULTIVOS PREVISTOS EN EL PLAN DE RIEGOS PARA LA II ETAPA DEL PROYECTO ARENAL-TEMPISQUE.	9
VII.	SITUACIÓN USO DE LA TIERRA EN ÁREAS DE LA II ETAPA AL REALIZAR LOS ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD.	15
VIII.	USO DE LA TIERRA ACTUAL EN EL ÁREA DE LA II ETAPA DEL PRAT.	16
IX.	LA CONSTRUCCIÓN DE UNA SISTEMA DE RIEGO REQUIERE DE GRANDES INVERSIONES QUE COMPROMETEN LA ECONOMÍA DEL PAÍS.	16
X.	LA ESPECIALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA DE REGADÍO Y LAS VENTAJAS COMPARATIVAS.	18
XI.	RAZONES QUE OBLIGAN A BUSCAR LA DIVERSIFICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE REGADÍO EN LAS TIERRAS DE LA II ETAPA DEL PROYECTO DE RIEGO ARENAL- TEMPISQUE.	18
XII.	CONCLUSIONES	20
XIII.	RECOMENDACIONES	21
XIV.	BIBLIOGRAFÍA	24

LISTA DE CUADROS

<u>Número</u>	<u>Título del Cuadro</u>	<u>Página</u>
1	Superficies cultivadas anualmente en Ha. y la diversificación de cultivos en las áreas piloto de la I Etapa del Proyecto de Riego Arenal-Tempisque (1984-1990)	2
2	Porcentajes de las áreas de los diversos cultivos sembrados en Paso Hondo (1984-1990)	6
3	Porcentajes de las áreas de los diversos cultivos sembrados anualmente en San Luis (1984-1990)	-
4	Utilización de la tierra propuesta por el área de la segunda etapa del Proyecto de Riego Arenal-Tempisque	10
5	Utilización de la tierra propuesta para el Subdistrito Piedras (Ha.)	11
6	Utilización de la tierra propuesta para el Subdistrito Cabuyo (Ha.)	12
7	Utilización de la tierra propuesta para Zapandi (Ha.)	13
8	Rendimiento de los cultivos propuestos para la segunda etapa del Proyecto de Riego Arenal-Tempisque y su comparación con la situación sin proyecto	14
9	Utilización de la tierra antes de la puesta en marcha de la segunda etapa del Proyecto de Riego Arenal-Tempisque (Ha.)	15

REFLEXIONES SOBRE EL RIEGO Y DRENAJE EN LA
DIVERSIFICACION DE CULTIVOS EN EL AREA DE LA
SEGUNDA ETAPA DEL PROYECTO DE RIEGO
ARENAL-TEMPISQUE

R. H. Pizarro C.*

I. INTRODUCCION

El agua y la tierra son necesarios para establecer la agricultura de regadío, sin embargo, cada uno debe aportar los elementos que en combinación permitan crear un habitat conveniente que las plantas que allí prosperen den los mejores productos en calidad y cantidad de la parte comercial del cultivo. El medio ambiente favorable del lado del suelo es ofrecido por la profundidad del estrato impermeable, por el espesor de la capa arable, por la fertilidad de éstas, por su textura (arcillosa, arenosa, limosa, etc.), por su capacidad de intercambio de cationes, por su contenido de sales, por su grado de compactación, por su estructura y la velocidad de infiltración básica, por la capacidad de retención, por su facilidad de trasmisión de la humedad. El agua a su vez debe aportar su calidad, cantidad y oportunidad.

Cuando estos elementos se combinan, otras características entran en consideración: La lluvia natural, la topografía (pendiente suave, moderada o fuerte), el relieve plano, ondulado o con depresiones, la pedregosidad, la facilidad de drenaje, o profundidad del manto freático; la presencia de drenes naturales. Las condiciones climáticas y del suelo originales son aptas para ciertos cultivos y para ciertas formas de aplicación del agua al suelo del cual la extraen las plantas. Si se desea que otro tipo de plantas, con el máximo de rendimiento, se desarrollen en esta localidad será conveniente crear otras condiciones para lo cual hay que modificar la situación original, por ejemplo: eliminar las piedras, nivelar el terreno, establecer terrazas, curvas de nivel, emparejar la superficie, cambiar la pendiente, lavar las sales, construir un sistema de drenaje, mejorar la fertilidad mediante la aplicación de abonos verdes, abonos orgánicos o abonos químicos. Estos cambios significan costos adicionales por lo que los productos agropecuarios que se obtengan deben tener alta demanda para que los precios de venta dejen al productor una buena rentabilidad y lo motiven a realizar otras inversiones porque él tiene la seguridad de obtener beneficios adicionales. Así la agricultura y la vida rural, serán más atractivas.

*Consultor en Riego y Drenaje Convenio IICA-SENARA

Cuadro No. 1 Superficies cultivadas anualmente en Ha y la diversificación de cultivos en las áreas piloto de la primera etapa del Proyecto de Riego Arenal-Tempisque (1984-1990)

	1984			1985			1986			1987			1988		
	San Luis	P. Hondo	Bagatzf												
Arroz		70			132	300	61.95	163	573	89.70	220.50	540.70	246.55	562.20	736.60
Frijol		1						5.2							
Chile Jalapeño		4			11			29							
Sorgo		2			2			46		6.50	2.50		3.50	2.50	
Mafz								2.5			3.50				
Camote								3.5			1.50				
Pepino								0.8							
Chile Dulce					3			1.8							
Cebolla					1			1.7							
Sandía	3				4		3.2	5.5		54	3		31.2	3.50	
Caña de Azúcar		144			184		178.5	247.5		188	350.2		188	223.70	
P. Jaragua					35		310	161.5		224	230.0		155	207	
P. Brachiarria															
P. Angleton															
P. Estrella Africana															
P. Transvata															
King Grass															
Maní										1.75					
Papaya					2		1.25	2		5.70			14		
Melón															
Ñampi															
Plátano															
TOTAL	3	221	—	317	374	300	554.9	670	573	569.65	830.30	540.70	638.75	1102.80	736.60

Fuente: SENARA. Distrito de Riego Arenal, Departamento de Desarrollo.

II. LA AGRICULTURA DE REGADÍO DIVERSIFICADA, CONSERVACIONISTA Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

La agricultura de regadío conservacionista y sostenible debe conducirse de modo que los insumos de la producción (agua, fertilizantes, agroquímicos, etc) no deterioren los recursos naturales ni dañen el medio ambiente que se torne perjudicial para el ser humano y para los animales y las plantas útiles, con el fin de tener una productividad permanente la cual durante un período de tiempo ofrezca el máximo beneficio, manteniendo la potencialidad de los recursos y no ponga en peligro el bienestar de las futuras generaciones. Los conceptos conservacionista y sostenibilidad activan la creatividad para planificar el uso de la tierra en el que se propondrá alternancia de cultivos, ejemplo: gramíneas (maíz, sorgo, arroz) y leguminosas (frijol, soya), de raíces profundas y superficiales, de corto mediano y largo período vegetativo, se controlará el agua de riego para evitar recargar los drenes, lixiviar el suelo y los fertilizantes, se incorporarán abonos verdes, compus o abonos naturales (excremento de aves, de vacunos, caprinos o equinos), se colocarán cortinas rompevientos para reducir el efecto destructor del viento, se protegerá el suelo contra la erosión hídrica eólica para lo cual se conservará una pendiente suave en el sentido del flujo del agua para reducir su velocidad; la labranza (aradura, rastreo), se hará con un buen contenido de humedad del suelo para evitar la pulverización que expone el suelo a la erosión eólica. Los drenes evacuarán los excesos de agua, tanto superficial como subterránea sin llevarse las partículas sólidas que empobrecen el suelo agrícola, sedimentan los canales y drenes reduciendo la capacidad de éstos y aumentando los costos de mantenimiento lo que altera el funcionamiento del sistema.

El desafío de la agricultura sostenible de regadío debe enfrentarse desde el comienzo, desde la concepción del sistema de riego de modo que la ciencia y el arte se apliquen coherentemente de tal manera que ambos, el aspecto estructural y el no estructural respondan positivamente a lo deseado.

Este no es el caso del sistema de riego del Proyecto Arenal-Tempisque, donde la idea original debe de acoger modificaciones fundamentales para hacer intervenir, en la medida de lo posible los principios enunciados. En el aspecto de construcción de obras, poco puede hacerse, porque la construcción de las obras civiles han sido adjudicadas por contrato y está bien avanzada, sin embargo, se requiere de una cierta tolerancia, para aceptar cambios en la parcelación introducidos por la retención de áreas para: bosques, para la protección de cauces naturales y para la viabilidad funcional.

Las consideraciones socio-económicas que definen el tamaño de la parcela deben orientarse de tal modo que el conductor de cada una de ellas se constituya, en un plazo prudencial, en un pequeño empresario, mejorando el bienestar de la familia rural.

Los enunciados presentados, nos impulsan a buscar una diversificación de cultivos para el sistema de riego del PRAT, la cual no significa, en lo absoluto, la substitución total de los cultivos tradicionales sino esa combinación armoniosa socio-agro-hidro-eco-pedológica que responda favorablemente a los criterios de la agricultura de regadío, conservacionista y sostenible.

III. JUSTIFICACION DE LA DIVERSIFICACION

Desde el punto de vista agronómico es conveniente que haya varios cultivos y que la tierra reciba alternativamente diferentes exigencias en nutrientes y exploten diferentes profundidades de suelo, así hay economía en los costos de producción en el período global de explotación de la tierra.

Con diferentes cultivos y con alternancia de los mismos, se establece un equilibrio biológico lo que reduce las necesidades de control de plagas, enfermedades y malas hierbas y se otorga a la naturaleza la biodiversidad natural existente anterior a la introducción de la agricultura intensiva.

Desde el punto de vista económico, la diversidad de cultivos asegura la obtención de ingresos a diferentes épocas del año y también no se arriesga todos los ingresos en una sola actividad. Con la diversificación pueden compensarse las pérdidas de una actividad agrícola con buenos ingresos de otras. En otro aspecto, al diversificarse la actividad de la finca hay una mejor utilización de los insumos y de la mano de obra limitados y también se reduce la oferta de productos, manteniéndose los precios de venta.

IV. NECESIDAD DE INVESTIGAR IN SITU CON LOS CULTIVOS Y SUS COMPONENTES TECNOLOGICOS CON EL FIN DE CONTAR CON SISTEMAS DE PRODUCCION PROBADOS, PARA LOS BENEFICIARIOS DE LA SEGUNDA ETAPA

La práctica de la agricultura de regadío es muy compleja por lo que la mejor información que se puede utilizar es aquella que proviene de los ensayos realizados en el lugar, de donde deben salir los paquetes tecnológicos, los costos de

producción, los rendimientos promedio, los beneficios promedio, las necesidades de insumos, de mano de obra, la mejor época de siembra y cosecha de los cultivos que se recomendarán para la zona.

Tan pronto como sea posible debe habilitarse una zona representativa de los suelos, dotarla de agua de riego y cultivarla con los cultivos recomendados y validar los componentes tecnológicos que se proponen, teniendo cuidado de determinar los costos de producción, los rendimientos y los beneficios; sobre esta base se puede armar el sistema de producción conveniente y estimar el tamaño de las parcelas a adjudicar a los beneficiarios. Este trabajo de verificación debe repetirse para un período suficientemente largo para darle confiabilidad a los resultados. Con esta información se resuelven los aspectos agronómicos, quedando para su momento, la solución a los aspectos del mercadeo y la búsqueda de las alternativas de la agroindustria. En el área de las tierras de la segunda etapa, existen las antiguas fincas de La Soga, San Gerónimo y Falconiana donde puede realizarse esta simulación agrícola estableciendo una finca modelo para generar los datos requeridos.

V. EL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCION EN LOS PROYECTOS DE LA PRIMERA ETAPA

En el cuadro No. 1 se muestra para el período 1984-1990 los cultivos que han constituido el patrón agrícola para las áreas piloto de la primera etapa. Se aprecia que la mayor diversificación se da en Paso Hondo, donde los porcentajes de las áreas por cultivo con riego, se muestran en el cuadro No. 2.

Cuadro No. 2 Porcentajes de las áreas de los diversos cultivos sembrados en Paso Hondo (1984-1990)

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Arroz	31.67	35.29	24.33	26.56	50.98	73.19	70.57
Caña de azúcar	65.16	49.20	36.94	42.17	29.35	14.39	16.60
Sorgo	1.81	2.94	6.86				
Maíz	0.9	0.53	0.37	0.30	0.23		0.08
Hortalizas	0.5	2.67	6.61	2.36	0.67	1.41	1.83
Pastos		9.36	24	27.70	18.77	11.02	9.37
Frijol			0.78				0.57
Coco							0.49
Guanábana							0.49
Papaya							

Calculados a partir del cuadro No. 1
Cuadro No. 3 Porcentajes de las áreas de los diversos cultivos sembrados anualmente en San Luis (1984-1990)

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Arroz		2.21	11.16	15.75	38.60	52.04	42.11		
Caña de azúcar		59.31	32.11	33.00	29.43	24.28	33.08		
Pastos		38.49	55.87	39.32	24.27	19.44	16.64		
Maní			0.22	0.31	0.55				
Hortalizas	100		0.58	10.48	7.08	4.02	8.17		
Frijol					0.08	0.22			
Maíz				1.14					

En el cuadro No. 1 se aprecia que:

- a. La agricultura de regadío ha sido creciente durante el período en las áreas piloto de la primera etapa.

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Area cultivada bajo riego/en ha	224.00	991.00	1797.90	1940.65	2478.15	3065.45	6705.97
Area cultivada Ha con arroz	70.00	439.00	797.95	850.90	1545.35	2271.55	4261.80
%	31.25	44.30	44.38	43.85	62.36	74.10	63.55
Area cultivada Ha con caña de azúcar	144.00	372.00	426.00	538.20	511.70	413.00	1933.66
%	64.29	37.54	23.69	27.73	20.65	13.47	28.83
Area cultivada Ha con pastos	0.00	157.00	471.50	454.00	362.00	323.90	402.80
%	0.00	15.84	26.23	23.39	14.61	10.57	6.01
Area cultivada con arroz, caña de azúcar y pasto	214.00	968.00	1695.45	1843.10	2419.05	3008.45	6598.26
%	95.54	97.68	95.30	94.97	97.62	98.14	98.39

Calculados a partir de los datos del cuadro No. 1

- b. Los cultivos principales de la agricultura de regadío son el arroz, la caña de azúcar y los pastos que juntos y en promedio para el período 1984-1990, constituyen el 96.81%, lo que significa que en el área de la primera etapa hay un predominio del tricultivo.

- c. El área dedicada al cultivo del arroz es creciente, mientras que la superficie dedicada a la caña de azúcar y los pastos han decrecido, la tendencia es hacia el monocultivo del arroz, lo cual se explica por la seguridad del mercado (las arroceras tienen capacidad para recibir mayor producción), porque la tecnología del cultivo de arroz es conocida y porque no hay, por el momento, limitación al uso del agua.

En el cuadro No. 2, referido al área piloto de Paso Hondo que es el que presenta una mayor diversificación de los cultivos, muestra la misma tendencia, mayor porcentaje de arroz y disminución de la caña de azúcar y de los pastos; los otros cultivos tienen mínima presencia. Así estos cultivos durante el período indicado han significado:

1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
96.83	93.85	85.27	96.46	99.10	98.60	96.54

En el cuadro No. 3, elaborado con los datos del área piloto de San Luis, indica que si bien es cierto que hay una diversificación, los cultivos principales siguen siendo el arroz, caña de azúcar y pastos, según se aprecia seguidamente:

1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
-----	100	99.19	88.07	92.30	93.76	91.83

En el caso de Bagatzí, hay el monocultivo del arroz, con dos cosechas por año, favorecidos por los suelos arcillosos, la demanda de mercado y la presencia del agua (cuyo costo de bombeo es subvencionado por SENARA).

Igualmente en ampliación Paso Hondo, los datos de 1990 indican que la agricultura de regadío se consagra a : arroz, caña de azúcar y pastos. En consecuencia, al momento actual la agricultura de regadío no muestra en el área de la primera etapa, mayores alternativas de diversificación de cultivos.

VI. LOS CULTIVOS PREVISTOS EN EL PLAN DE RIEGOS PARA LA SEGUNDA ETAPA DEL PROYECTO ARENAL-TEMPISQUE

El estudio de factibilidad que ha servido de base para solicitar el préstamo al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para ejecutar la infraestructura que facilite la puesta en agricultura de regadío de 21765 Ha, incluía los cultivos: algodón, arroz, caña de azúcar, maní, pastos, sorgo, soya y otros (hortalizas y frutales).

El cuadro No. 4 nos muestra que el arroz sería el cultivo prioritario con 9000 Ha al año, o sea, el 41.35% de la superficie total cultivada de la segunda etapa. La caña de azúcar solo alcanzaría el 2.76% (600 Ha) y los pastos 6.89% (1500 Ha). Se proponían algodón, maní, soya, sorgo y hortalizas y frutales como cultivos de diversificación.

Los cuadros 5, 6 y 7 indican para los subdistritos: Piedras, Cabuyo y Zapandi las rotaciones y las áreas que deberían sembrarse de los cultivos propuestos. En Piedras, el arroz solo cubriría el 23.76%, en Cabuyo 63.43% y en Zapandi no se sembraría. Para la caña de azúcar se reservará 600 Ha de los suelos francos de Piedras.

Los rendimientos promedio previsto y su comparación con los que se obtienen en la condición sin proyecto, se presentan en el cuadro No. 8. Los rendimientos promedio propuestos son fácilmente alcanzables, sin embargo, es muy importante que se asegure tanto la comercialización de los productos, como los precios de compra para darle confianza al productor.

Cuadro No. 4 Utilización de la tierra propuesta para el área de la segunda etapa del Proyecto de Riego Arenal-Tempisque

SUBDISTRITO	Piedras	Cabuyo	Zapandi	Total	%
CULTIVO					
Algodón	1550	1545	500	3595	16.52
Arroz	2500	6500		9000	41.35
Caña de azúcar	600			600	2.76
Maní	2533	500	250	3283	15.08
Pastos	950	550		1500	6.89
Sorgo	1500	545	50	2095	9.63
Soya	517	500	200	1217	5.59
Otros*	375	100		475	2.18
TOTAL	10525	10240	1000	21725	100

Fuente: Costa Rica-Informe de Proyecto. Proyecto de Riego Arenal-Tempisque (PRAT)

Cuadro No. 5 Utilización de la tierra propuesta para el Subdistrito Piedras (Ha)

Caract. de los suelos		Rotación	Hectáreas sembradas			
			I Ciclo	II Ciclo	Total	%
Textura arcillosa						
Drenaje moderado						
Area física 1250 Ha	arroz-arroz		1250	1250	2500	23.76
Textura franca	Caña		600		600	5.70
Drenaje bueno	Maní-algodón		1033	1033	2066	19.64
Area física 4360	Soya-algodón		517	517	1034	9.82
	Maní-sorgo		1500	1500	3000	28.50
	Pastos		335		335	3.18
	Otros*		375		375	3.56
Textura limoso						
Drenaje excesivo						
Area física 615 Ha	Pastos		615		615	5.84
TOTAL 6225			6225	4300	10525	100

*Frutales y hortalizas

Fuente: Costa Rica-Informe de Proyecto (PRAT) II Etapa

Cuadro No. 6 Utilización de la tierra propuesta para el Subdistrito Cabuyo (Ha)

Caract. de los suelos	Rotación	Hectáreas sembradas			
		I Ciclo	II Ciclo	Total	%
Textura: arcillosa	Arroz-arroz				
Drenaje: moderado		3250	3250	6500	63.48
Area física 3800 Ha		Soya-algodón	545	545	1090
Textura franca	Soya-algodón	500	500	1000	9.76
Drenaje bueno	Maní-algodón	500	500	1000	9.76
Area física 1415 Ha	Pastos	320		320	3.13
	Otros*	100		100	0.99
Textura limosa	Pastos				
Drenaje excesivo					
Area física 230 Ha		230		230	2.25
TOTAL 5445		5445	4795	10240	100

*Frutales y hortalizas

Fuente: Costa Rica-Informe de Proyecto (PRAT) II Etapa

Cuadro No. 7 Utilización de la tierra propuesta para Zapandi (Ha)

Caract. de los suelos	Rotación	Hectáreas Sembradas Ha			
		I Ciclo	II Ciclo	Total	%
Textura arcillosa Drenaje moderado Area física 50 Ha	Sorgo-algodón	50	50	100	10
Textura franca Drenaje bueno Area física 450 Ha	Maní-algodón Soya-algodón	250 200	250 200	500 400	50 40
TOTAL		500	500	1000	

Fuente: Costa Rica-Informe de Proyecto (PRAT) II Etapa

Cuadro No. 8 Rendimiento de los cultivos propuestos para la segunda etapa del Proyecto de Riego Arenal-Tempisque y su comparación con la situación sin proyecto

Cultivo y Vacunos	Unidad	Rendimiento Actual	Rendimiento con proyecto	Incremento del Rendimiento %
Algodón	TM	2.0	3.5	75
Arroz	TM	3.0	5.0	67
Caña de azúcar	TM	70	100	43
Maní	TM	1.6	3.5	119
Sorgo	TM	2.5	5.0	100
Soya	TM	1.6	2.5	56
Vacuno de carne	Kg	100	250.0	150
Vacuno de leche	L	300	3510.0	1170

Fuente: Costa Rica-Informe de Proyecto (PRAT) II Etapa

VII. SITUACION DEL USO DE LA TIERRA EN LAS AREAS DE LA SEGUNDA ETAPA AL REALIZAR LOS ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD

Del cuadro No. 9 se desprende que de las 12870 Ha físicas que considera el estudio de factibilidad, existían en el subdistrito de Cabuyo 2150 Ha sembradas de arroz bajo riego y 320 Ha cultivadas de sorgo, es decir, que la agricultura de regadío cubre el 19.19%; mientras que 7010 Ha, esto es, el 54.47% se cultivaba en secano, y 3390 Ha, o sea, 26.34% no se sembraban. En esta área el cultivo del arroz y la ganadería han sido las actividades agropecuarias más importantes y que la introducción del riego ha querido modificar según se deduce del estudio de factibilidad, en el que se introducen además de lo indicado en el cuadro No. 9 maní, soya, hortalizas y frutales, sin embargo, es necesario resaltar que la realidad de 1992 es diferente de la de 1985 y que otros factores y nuevas condiciones afectan la agricultura en el distrito Arenal, por lo que algunos de los cultivos que antes se sembraban hoy ya no lo son y otros deberán participar en la renovada agricultura de regadío del siglo XXI.

Cuadro No. 9 Utilización de la tierra antes de la puesta en marcha de la segunda etapa del proyecto de Riego Arenal-Tempisque (Ha)

Subdistrito Cultivo	PIEDRAS			CABUYO			ZAPANDI			TOTAL DE LA SEGUNDA ETAPA			%
	Secano	Riego	Total	Secano	Riego	Total	Secano	Riego	Total	Secano	Riego	Total	
Algodón	750		750							750		750	5.83
Arroz	550		550				300		300	1150	2150	3300	25.64
Caña de azúcar	600		600							600		600	4.66
Pastos	4000		4000				260		260	4260		4260	33.10
Sorgo	250	170	420		150	150				250	320	570	4.43
Sin uso	380		380	3010		3010				3390		3390	26.34
TOTAL	6530	170	6700	3310	2300	5610	560		560	10400	2470	12870	

Fuente: Costa Rica-Informe de Proyecto (PRAT) II Etapa

VIII. USO DE LA TIERRA ACTUAL EN EL AREA DE LA SEGUNDA ETAPA DEL PRAT

Actualmente, en estas áreas que recibirán el beneficio del agua de riego, se cultivan arroz y caña de azúcar con agua bombeada de los ríos cercanos a las fincas; así se estima que el uso de la tierra es como sigue:

Propietario	Arroz		Caña de Azúcar		Pastos	
	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano
Mojica	1800	—	—	—		
Ranchos Horizontes	4000	—	500	—		
Pelón de la Bajura	4400	—	—	—		

La tendencia se dirige hacia la especialización del arroz.

En las fincas adquiridas por el IDA (La Soga, Lapas, Ranchos Horizontes, Tamarindo, Falconiana) se conduce una ganadería extensiva en secano.

En Bagatzí solo se cultiva arroz con riego, en Falconiana se cultiva en secano maíz y sorgo. En las áreas que por la topografía presentan limitaciones para el riego, se cultiva pasto en secano. Este es el panorama de la utilización de la tierra en el área de la segunda etapa. Al igual que en la primera etapa, el agua de riego producirá una transformación del agua y se requerirá de un período de ensayos antes que se defina el patrón de cultivos conveniente para esta parte del distrito.

IX. LA CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE RIEGO REQUIERE DE GRANDES INVERSIONES QUE COMPROMETEN LA ECONOMIA DEL PAIS

El riego demanda una fuerte inversión por lo que sólo los cultivos altamente rentables y los agricultores eficientes pueden permanecer.

Para transformar las condiciones climáticas de una zona mediante el riego, es necesario realizar estudios convergentes: técnicos o de ingeniería, agronómicos, sociales y económico-financieros que muestren que la situación con proyecto será muy superior a aquella sin proyecto porque el efecto multiplicador de la economía, generada por la presencia artificial del agua creará condiciones de bienestar y de satisfacción tanto para la población directamente beneficiada

como para el país. Los estudios y la construcción de las obras requieren de la disponibilidad de capital que en los países en desarrollo no siempre se tiene, por lo que debe recurrirse a los organismos financieros internacionales quienes imponen tasas de interés, período de reembolso y a veces una contrapartida nacional, el cumplimiento de estas exigencias le otorga solvabilidad al país.

Para hacer frente a las obligaciones derivadas del préstamo es conveniente que los beneficiados obtengan mayores ingresos por concepto de la actividad agrícola de regadío a fin de contribuir a la amortización del préstamo, al pago de los intereses, a la operación y mantenimiento del sistema de riego y al bienestar comunal, regional y nacional. Ante este desafío, el productor tiene que ser imaginativo ya que al mismo tiempo que asegura la permanencia de la actividad agrícola y también de sus ingresos, va siempre a la búsqueda de innovaciones tecnológicas y de cambios en el trabajo de la tierra y de cultivos para aumentar sus ganancias que le permitan sufragar los costos relacionados con el funcionamiento del sistema de riego. Sin olvidar que el uso de la tierra y el agua deben cumplir una función social, el productor en agricultura de regadío debe ser eficaz y eficiente, lo primero para cultivar aquello que tienen mercado asegurado a la cantidad que no afecte sus ingresos y lo segundo para que el empleo convergente de sus recursos le ofrezca la mayor rentabilidad.

Puede deducirse que la diversificación de la actividad agrícola es una alternativa que responde, en un período largo, a los requerimientos creados por la agricultura de regadío.

Para poner en marcha la agricultura de regadío en las áreas piloto de la primera etapa se utilizó 15.1×10^6 dólares mediante los préstamos 617/SF-CR y el 373/OC-CR. Para la segunda etapa se requieren 44.5×10^6 dólares. En la primera se habilitaron 6006 Ha y con la segunda lo harán 12.870 Ha. Esta superficie física, puede ser utilizada, según los períodos vegetativos de los cultivos y la habilidad del productor para producir más de una cosecha por año; lo que aumentará y diversificará la disponibilidad de los productos que hagan crecer la rentabilidad de la actividad agrícola de regadío.

X. LA ESPECIALIZACION EN LA AGRICULTURA DE REGADIO Y LAS VENTAJAS COMPARATIVAS

Aunque biológicamente la diversificación de cultivos es muy deseable, la situación global puede orientar la actividad agrícola a la especialización en un determinado número de cultivos, lo que los hace competitivamente, muy favorables, con grandes beneficios para los propietarios. En tales situaciones el monocultivo cobra prioridad. Sin embargo, llegar a la cima de la capacidad productiva la cual, generalmente, es progresiva, requiere la convergencia espacio-temporal de todos los insumos de la producción agrícola, suelo, agua, mano de obra, semillas, fertilizantes, agroquímicos, condiciones climáticas al igual que la disponibilidad de mercado y la capacidad gerencial.

En estos momentos, las condiciones señaladas son adecuadas, en el áreas del proyecto de riego Arenal-Tempisque para el arroz y la caña de azúcar; de tal manera que un alto porcentaje de la tierra se emplea para estos cultivos y las grandes fincas agrícolas han instalado los equipos para la industrialización de los productos respectivos. Ante tales circunstancias la mejor opción para el productor es el cultivo único. En este mismo orden de cosas, los productos de zonas especializadas tienen menores precios de venta, lo cual abre paso a los intercambios comerciales con otras zonas especializadas las que aprovechando las ventajas comparativas obtienen beneficios recíprocos sin entrar en competitividad.

Cabe mencionar que hasta el momento los productos indicados, arroz, caña de azúcar y pastos, no han sido limitados por los criterios de la defensa del medio ambiente de modo que es de esperar que continúen aún en esa senda por muchos años.

XI. RAZONES QUE OBLIGAN A BUSCAR LA DIVERSIFICACION DE LA AGRICULTURA DE REGADIO EN LAS TIERRAS DE LA SEGUNDA ETAPA DEL PROYECTO DE RIEGO ARENAL-TEMPISQUE

En las pequeñas parcelas que se otorgarán a los beneficiarios del IDA, en las tierras de la segunda etapa, y como se destaca en la evaluación de la primera etapa, es importante la diversificación de la actividad agropecuaria:

- a. Para no arriesgar los beneficios en un solo cultivo el cual puede ser el origen de su ruina económica que lo obligaría a abandonar la parcela y cargado de deudas, a cambiar de trabajo. Por el contrario, si tiene varios cultivos y conduce una actividad agropecuaria, sus ingresos se diversifican, se compensan en algún momento, otorgando seguridad y confianza.

- b. Si la producción no es abundante no se satura el mercado y se mantienen los precios lo que en cierta medida es alentador y permite graduar la oferta para satisfacer la demanda según se van abriendo los mercados; por esta razón la diversificación de los cultivos es muy favorable para los pequeños productores.
- c. Al diversificar la actividad agropecuaria también la mano de obra familiar encuentra ocupación escalonada durante todo el año, lo que otorga dinamismo y continuidad a la repartición de tareas.
- d. La diversificación ofrece un campo fructífero a la creatividad que es lo que se busca desarrollar para que el productor se convierta en un pequeño empresario.
- e. La diversificación, asociación y la rotación de cultivos favorece la utilización intensiva de la tierra sin deteriorarla porque se establece un equilibrio biológico muy conveniente para la disminución de los costos y para la conservación del medio ambiente.

Por los elementos enunciados. por la seguridad de los beneficiarios, por el logro de una actividad agropecuaria sostenible es muy conveniente la búsqueda de alternativas reales de diversificación para los productores de la segunda etapa, para lo cual, es imperativo la investigación y la validación en el área de la segunda etapa.

XII. CONCLUSIONES

1. La información existente sobre el uso de la tierra en el distrito de riego Arenal, nos muestra que más del 90% de la tierra se dedica a tres cultivos: arroz, caña de azúcar y pastos.
2. Los otros cultivos como hortalizas, frutales e industriales, utilizan menos del 10% de la tierra.
3. El proyecto Bagatzi se ha especializado en el cultivo de arroz y el 100% de la tierra se dedica a este cultivo con dos cosechas por año.
4. Los proyectos Paso Hondo, San Luis, y recientemente la Guaría, tienen una pequeña superficie dedicada a hortalizas; sin embargo la tendencia se orienta hacia la caña de azúcar y el arroz.
5. En ampliación, en Paso Hondo hay predominio de los tres (03) cultivos señalados.
6. En los últimos años, la agricultura se orienta hacia el arroz con una disminución de la caña de azúcar y de los pastos.
7. A pesar de que los productores desean la diversificación más amplia, ellos se encuentran con limitaciones provenientes de:
 - a. Carencia de los componentes tecnológicos que les permita tener altos rendimientos en productos de calidad, de modo que la rentabilidad sea competitiva vis a vis de los cultivos tradicionales (arroz y caña de azúcar).
 - b. La inseguridad en la comercialización que constituye un alto riesgo para el productor.
8. En el dominio del distrito existe una infraestructura especializada que asegura la compra del arroz y de la caña de azúcar, razón por la cual éstos son los cultivos preferidos.
9. En el medio, existe una tecnología para estos cultivos la que favorece su preferencia.
10. En lo que respecta a los cultivos propuestos en el estudio de factibilidad, para el área de la segunda etapa arroz, caña de azúcar, algodón, maní, sorgo, soya, hortalizas y frutales se sigue la misma tendencia, pues estos últimos solo constituían el 2.18% y al momento actual solo se cultiva arroz y caña de azúcar.

11. Aunque en el pasado se ha cultivado algodón, maní, sorgo y soya hoy día estos cultivos ya no se practican. Pareciese ser que ha sido la falta de mercado y también los bajos rendimientos que han sido la causa del abandono de los cultivos en mención.
12. En las áreas de la segunda etapa, actualmente, en uso donde el agua de riego se obtiene mediante bombeo de los ríos que cruzan la zona, predomina el arroz y en menor cuantía la caña de azúcar y los pastos.
13. Por el momento y hasta la puesta en operación de la segunda fase del proyecto de riego Arenal-Tempisque, el recurso hídrico disponible (el agua que se capte en la presa Miguel Pablo Dengo por los canales Sur y Oeste, excederá los requerimientos de las superficies sembradas de arroz y caña de azúcar) y la seguridad del mercado son los elementos que favorecerán la preferencia de estos cultivos.
14. Los organismos responsables del desarrollo de alternativas agropecuarias para los productores de la segunda etapa acusan un retardo en la obtención de resultados por lo que al momento en que se avicina la selección de los beneficiarios para la segunda etapa es muy poco lo que se les puede ofrecer, que no sea tierra y agua y un conocimiento empírico de los cultivos tradicionales arroz, caña de azúcar y pastos.

XIII.RECOMENDACIONES

Dada la urgencia de darle solución a la diversificación de los cultivos en el área de la segunda etapa del proyecto, será muy conveniente:

1. Que se realice en el menor tiempo posible un estudio detallado de la capacidad de uso de los suelos que conforman el área de la segunda fase del PRAT.
2. De acuerdo con el potencial agrológico, establecer para cada subárea los cultivos mas apropiados así como los costos necesarios para eliminar las limitaciones a fin de lograr las mejores condiciones agro-climáticas para los cultivos.
3. El organismo responsable en concordancia con los resultados del punto 2, buscará los mercados para asegurar la comercialización.

4. La entidad pertinente realizará la experimentación apropiada de los cultivos recomendados en 2, para lograr los rendimientos de los productos de la calidad exigida para lograr la rentabilidad competitiva que haga atractiva la agricultura de regadío.
5. Determinar la capacidad que los ingenios y las arroceras podrían aceptar de caña de azúcar y de arroz para que las diferencias sean abastecidas por los productores de la segunda etapa.
6. Dominar los componentes tecnológicos del cultivo del arroz y de la caña de azúcar para aumentar los rendimientos de los productos cada vez de mejor calidad para hacer crecer los beneficios.
7. Aprovechar el potencial agro-ambiental del área para especializarlo en un grupo de cultivos que según las ventajas comparativas, sean altamente competitivo a nivel nacional y buscar los caminos para lograrlo, también a nivel internacional.
8. Mientras se logra lo enunciado anteriormente, proponer a los pequeños productores beneficiarios del área de la segunda etapa del PRAT:
 - a. Organizarse en una sociedad de usuarios del riego con objetivos múltiples.
 - 1) Obtener una distribución equitativa y segura del agua.
 - 2) Procurarse los insumos necesarios para la producción agropecuaria.
 - 3) Delimitar en conjunto, la superficie total a sembrar de un determinado cultivo para no exceder la producción prevista que podría ser perjudicial para todos.
 - 4) Vender los productos de manera global para lograr precios remunerativos.
 - b. Ofrecerles un número limitados de cultivos a los que el organismo responsable de la comercialización en el país les asegure un precio base. Por ejemplo: 4 hectáreas de arroz, 2 hectáreas de caña de azúcar, 2 hectáreas de tomate y 2 hectáreas de cebolla.
 - c. Poner al alcance de los productores la asistencia técnica competente, oportunamente para el buen manejo de los cultivos.

- d. Ayudarlos durante un período de cinco años, (tiempo de maduración del proyecto), para obtener una producción permanente con una rentabilidad estable. En este período los productores obtendrán una subvención general que abarcará tanto el pago de la tarifa de riego como la adquisición de insumos.



