

**ESPACIAMIENTO Y PROFUNDIDAD DE LOS DRENES EN SUELOS ORGANICOS DEL VALLE DE
SIBUNDÓY, PUTUMAYO, COLOMBIA**

Por

VICTOR MAURICIO GONZALEZ MUÑOZ

**Tesis de Grado presentada como requisito parcial
para optar al título de
INGENIERO AGRONOMO**

Presidente de Tesis

ANTONIO ARIAS HERNÁNDEZ I.A., M. Sc.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS**

PASTO - COLOMBIA

1975

FN
T
631.6
6643
Ej.1

A-00016

A LA MEMORIA DE MI PADRE

A LA MEMORIA DE MIS PADRES Y DE MIS HERMANOS

A MI MADRE

A MI ESPOSA

A MI HIJA

"Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de Grado, son de responsabilidad exclusiva de su autor".

Art. 10. del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño:

UNIVERSIDAD DE NARIÑO	
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN	
PASTO - COLOMBIA	
No. 18601	Ej. 1
Valor \$ 990	Vol.
Fecha 11-22-75	Don. X
Féct.	Canje
Librería	Comop.

AGRADECIMIENTOS A :

A LA MEMORIA DE MI PADRE

A LA MEMORIA DE MONSEÑOR RAUL ZAMBRANO CAMADER

A MI MADRE

A MIS HERMANOS

A MARIA EUGENIA

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

DEDICO :

VICTOR MAURICIO GONZALEZ MUÑOZ

Escuela de Ciencias Químicas, Universidad de Manila

A todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en el desarrollo del presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS A :

ANTONIO ARIAS HERNANDEZ I.A., M. Sc.

EFREN CORAL QUINTERO I.A., M. Sc.

LUCIO LEGARDA BURBANO I.A., M. Sc.

BERNARDO MARTINEZ SANTACRUZ I.A.

LUIS ALEJANDRO AREVALO I.A.

LUCY AGUILERA RIASCOS

JORGE ROSAS

BERTULFO CUELLAR

Personal INCORA - Pasto

Personal Distrito de Riegos y Drenajes
de Sibundoy

Facultad de Ciencias Agrícolas, Univer-
sidad de Nariño

A todas aquellas personas que en una u
otra forma colaboraron en el desarrollo
del presente trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Problemas causados por el mal drenaje	3
2.2 Objetivos del drenaje	3
2.3 Sistemas y métodos de drenaje	6
2.3.1 Drenos abiertos y drenos cerrados	7
2.4 Criterios para el diseño de drenajes	7
2.5 Suelos orgánicos	11
2.5.1 Tipos físicos de turba	12
2.5.2 Suelos turbosos	13
2.5.3 Asentamiento superficial en los suelos turba nos mediante drenaje y operaciones agrícolas	13
2.5.4 Influjo de la turba en la instalación y fun- cionamiento del drenaje	14
2.5.5 Algunas ventajas de las ranjas descubiertas	15
2.5.6 Turberas de gran espesor	15
2.5.7 Espaciamiento y profundidad de los drenes en turberas de gran espesor	15
III. MATERIALES Y METODOS	17
3.1 Localización del área	17
3.2 Clima	17
3.3 Fisiografía	20
3.4 Hidrografía y drenaje	22
3.5 Suelos	22
3.6 Levantamiento topográfico	23
3.7 Pozos de observación	23
3.7.1 Instalación de la red de pozos de observación	23
3.7.2 Lectura en los pozos de observación	25
3.7.3 Hidrogramas	25

	Pág.
3.8 Líneas isóbatas e isohipsas	28
3.9 Determinación de algunos parámetros físicos	28
3.9.1 Densidad aparente	28
3.9.2 Conductividad hidráulica	32
3.9.2.1 Abertura de los agujeros	32
3.9.2.2 Remoción del agua de los agujeros	32
3.9.2.3 Medición de la tasa de elevación	32
3.9.2.4 Equipo	32
3.9.2.5 Procedimiento	32
3.9.2.6 Cálculo de la conductividad hidráulica	33
3.10 Diseño del sistema	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
5.1 Conclusiones	78
5.2 Recomendaciones	78
VI. RESUMEN	80
SUMMARY	81
VII. BIBLIOGRAFIA	82
APENDICE	84

ILUSTRACIONES

	Pág.
FIGURA 1. Localización de la Intendencia del Putumayo en Colombia	18
FIGURA 2. Localización del Valle de Sibundoy en la Intendencia del Putumayo	19
FIGURA 3. Levantamiento topográfico	24
FIGURA 4. Localización de los pozos de observación	26
FIGURA 5. Formaleta de madera utilizada para la instalación de los pozos de observación	27
FIGURA 6. Plano de líneas isóbatas	29
FIGURA 7. Plano de líneas isohipsas	30
FIGURA 8. Plano de dirección de flujo	31
FIGURA 9. Medida de campo de la conductividad hidráulica	34
FIGURA 10. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 1	38
FIGURA 11. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 2	39
FIGURA 12. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 3	40
FIGURA 13. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 4	41
FIGURA 14. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 5	42

FIGURA 15.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 6 . . .	43
FIGURA 16.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 7 . . .	44
FIGURA 17.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 8 . . .	45
FIGURA 18.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 9 . . .	46
FIGURA 19.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 10 . .	47
FIGURA 20.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 11 . .	48
FIGURA 21.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 12 . .	49
FIGURA 22.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 13 . .	50
FIGURA 23.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 14 . .	51
FIGURA 24.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 15 . .	52
FIGURA 25.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 16 . .	53
FIGURA 26.	Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 17 . .	54

	Pág.
FIGURA 27. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 18 . .	55
FIGURA 28. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 19 . .	56
FIGURA 29. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 20 . .	57
FIGURA 30. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 21 . .	58
FIGURA 31. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 22 . .	59
FIGURA 32. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 23 . .	60
FIGURA 33. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 24 . .	61
FIGURA 34. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 25 . .	62
FIGURA 35. Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo, pozo de observación No. 26 . .	63
FIGURA 36. Espaciamiento y profundidad de los drenes	66
FIGURA 37. Nomograma para el cálculo del espaciamiento	68
FIGURA 38. Plano de canales	70
FIGURA 39. Secciones transversales de los drenes	71
FIGURA 40. Perfil del canal "A"	72
FIGURA 41. Perfil del canal "B"	73

	Pág.
FIGURA 42. Perfil del canal "C"	74
FIGURA 43. Perfil del canal "P"	75
FIGURA 44. Perfil del canal "E"	76

ESPACIAMIENTO Y PROFUNDIDAD DE LOS DRENES EN SUELOS ORGANICOS DEL VALLE DE SIBUNDOY, PUTUNAYO, COLOMBIA (*)

Por

VICTOR MAURICIO GONZALEZ MUÑOZ

I. INTRODUCCION

La producción económica de los cultivos requiere condiciones favorables en la zona radical del perfil. Ello incluye humedad, fertilidad y temperatura del suelo adecuadas y un nivel bajo de sales solubles.

En general, el drenaje se refiere a un conjunto de técnicas que permiten eliminar, a una velocidad suficiente y segura, el agua libre de la superficie del suelo y de la zona radical de los cultivos, sea cual fuere el origen de dicho remanente, para prevenir daños en las plantas, mantener en condiciones favorables el suelo, asegurar el éxito de las labores culturales y mejorar las condiciones sanitarias de la zona.

La eficiencia de un sistema de drenaje en zonas húmedas, como en el caso del Valle de Sibundoy, estriba en mantener el nivel freático a una profundidad tal que no interfiera con el desarrollo radical de las plantas, que no varíe irreversiblemente la condición física del suelo y que impida la acumulación o formación de sales en la superficie del terreno.

(*) Tesis de Grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Antonio Arias Hernández I.A., M. Sc.

En las regiones húmedas el drenaje constituye una necesidad aun mayor que en las áridas. Las lluvias en exceso producen encharcamiento en las zonas llanas y bajas. Si dichos excesos ocurren durante el período vegetativo, aparecen limitaciones al desarrollo y crecimiento de los cultivos. Generalmente los terrenos drenados son más productivos. El problema consiste en valorar correctamente la utilización potencial de los terrenos, proyectar e instalar el drenaje más económico en terrenos que lo justifiquen y mantener un sistema que funcione de tal manera que se produzcan los máximos rendimientos y mayores beneficios.

Los objetivos que se persiguen con este estudio en los suelos del Valle de Sibundoy son los siguientes :

1. Remover el exceso de agua del suelo, con el fin de mantener su adecuada aireación
2. Análisis de las condiciones climatológicas
3. Determinar el espaciamiento óptimo de drenes
4. Correlacionar niveles freáticos con lluvias
5. Determinar el asentamiento en primera etapa bajo el proceso de de secación
6. A través de zanjas perimetrales de drenaje mantener un nivel freático a 0,40 m
7. Determinar los valores medios de conductividad hidráulica y densidad aparente.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Problemas causados por el mal drenaje

Según Grassi (11), los climas húmedos y semi-húmedos tropicales se caracterizan por tener un desigual régimen pluvial y de evapotranspiración; siendo mayor la precipitación, es lógico que se produzcan excesos de agua, los que con una topografía desfavorable y baja capacidad de transmisión, pueden dar origen a problemas de drenaje. Si los excesos de agua ocurren durante el período vegetativo de los cultivos, resultan serias limitaciones.

Foster (8) dice que un suelo humedecido es un suelo frío. Cuando se lo drena, el aire sustituye el agua que es llevada fuera del suelo y se necesitará menos calor para calentar ese aire. Las plantas crecen mejor en suelo caliente y con aire en la zona radical. Las bacterias beneficiosas trabajan mejor en estas condiciones. Probablemente un suelo húmedo está apretado, compacto y denso y las raíces de las plantas no pueden extenderse fácilmente.

Bever, Gardner y Gardner (3) manifiestan que la falta de aireación debida al mal drenaje impide la actividad biológica. La descomposición de la materia orgánica se retarda y la tasa de meteorización de los compuestos orgánicos disminuye. Algunos organismos patógenos se hacen más activos, agravando los problemas de enfermedades del suelo. Los suelos encharcados tienen temperaturas más bajas, retardando la germinación de las semillas y el establecimiento sucesivo de las plantas.

Para Roe y Ayres (17), los problemas de drenaje agrícola se dividen naturalmente en tres clases :

Clase 1. Problemas de drenaje superficial, comprendiendo sólo la evacuación rápida del agua superficial

Clase 2. Problemas combinados de drenaje superficial y subterráneo, o sea la eliminación del agua superficial y la reducción de la humedad excesiva dentro del suelo en la zona de las raíces

Clase 3. Problemas de drenaje subterráneo, que comprende sólo la reducción de la humedad excesiva en el propio suelo.

Correa (4) conceptúa que existen problemas de drenaje superficial e interno. Los problemas de mal drenaje superficial son causados por :

a. Superficie del suelo irregular con depresiones y promontorios que previenen o retardan la escorrentía natural (cuando los suelos son lentamente permeables se agrava el problema).

b. Canales de drenaje dentro del área con capacidad insuficiente que remueven el agua tan lentamente que el nivel del agua en ellos produce el anegamiento del suelo por largos períodos

c. Condiciones de desagüe que mantienen la superficie del agua por encima del suelo, tales como la elevación de agua en los lagos, durante las épocas de mayor precipitación.

Las fuentes del exceso de agua más importantes están constituidas por las lluvias, el agua de riego, escorrentía o filtraciones procedentes de tierras cercanas y/o desbordamientos de corrientes.

Para Luthin (12) los problemas de drenaje superficial se producen por la incapacidad del exceso de agua para movilizarse libremente sobre la superficie del terreno hasta un punto de salida. Estas condiciones generalmente se encuentran en :

a. Zonas de topografía extremadamente plana y donde los suelos son poco profundos, o están sobre un estrato de suelos impermeables

b. Zonas que tienen depresiones o bolsas poco profundas, formadas artificialmente, que detienen el agua

c. Zonas de terrenos de hondedades y llanuras de los ríos, que reciben los escurrimientos de terrenos altos

d. Zonas inundables por derrames o desbordamientos de los ríos o corrientes

e. Regiones que quedan cubiertas ya sea por acción directa de las mareas o por el efecto de las mareas sobre el escurrimiento de los ríos.

Correa (4) dice que los problemas de drenaje interno se originan por diversas causas : las tierras tienden a estar escasamente drenadas especialmente cuando la permeabilidad del suelo es baja. Existen muchas áreas húmedas, sin embargo, donde no se encuentra una conexión evidente entre el área de filtraciones o el nivel freático elevado y la topografía del sitio.

Teniendo en cuenta estas zonas, lo más conveniente es clasificar los problemas de drenaje interno con relación al origen del exceso de agua y la forma como ésta se mueve dentro y a través del área problema. Este sistema de identificación de las condiciones superficiales es de utilidad para la solución de problemas más complejos porque indica la clase de sistema de drenaje que se necesita.

2.2 Objetivos del drenaje

Para Grassi (11) el drenaje tiene como objetivo, eliminar el sobrante de agua del suelo, con el fin de mantener las condiciones de aereación y la actividad biológica del mismo, indispensable para que se cumplan los procesos fisiológicos relativos al crecimiento radical. Se garantizan así al cultivo las posibilidades de expansión en profundidad, lo que significa un mayor soporte mecánico y mayor acceso al agua y a los nutrientes.

De igual manera, el drenaje tiene como objetivo remover las sales del suelo y mantener su balance salino. Entendiéndose por ello no sólo la lixiviación de sales que originalmente tiene el suelo, sino también el abatimiento de los niveles freáticos, para evitar que las sales ascienda a la

capa radical a través del agua que consumen las plantas.

Según Luthin (12) el drenaje efectivo debe cumplir con dos objetivos :

- a. Eliminar los factores que contribuyen al problema, y
- b. Establecer un sistema satisfactorio de salidas o desagües que puedan evitar futuras inundaciones.

Roe y Ayres (17) dicen que el objeto del drenaje es eliminar el agua libre de la superficie de los campos cultivados y del mantillo de la zona de las raíces, tan pronto como sea practicable después de su acumulación, lo cual es necesario porque el agua superficial persistente de anegamiento ahoga pronto la vida de las plantas. Si el agua libre se eleva alrededor de la planta y permanece así durante mucho tiempo, entorpece las funciones de las raíces y las daña rápidamente. En las regiones de regadío, aunque el objeto esencial es el mismo que en las regiones húmedas, el drenaje superficial es con frecuencia necesario para el alivio de las presiones artesianas, para interceptación de las filtraciones y para eliminar los álcalis de la zona de las raíces.

2.3 Sistemas y métodos de drenaje

Foster (8) dice que las condiciones propias de cada lugar determinan la clase de drenaje que se necesita. Lo que en un sitio es bueno, puede no serlo en otro. El tipo del suelo, la inclinación del terreno, los cultivos, el valor de la tierra y los predios agrícolas colindantes, son factores que deben tenerse en cuenta. A menudo un buen sistema de drenaje incluye a cierto número de explotaciones agrícolas.

Para Luthin (12), el tendido del sistema de drenaje depende de la magnitud del problema de eliminación, esto es, si el sistema se extiende sobre un área grande, o si está localizado, tal como el caso de un cauce o vía fluvial anegado. Para drenaje uniforme de superficies grandes, el

sistema de parrilla y el de esqueleto de pescado son comunes, pero con frecuencia se requieren las combinaciones de dos o más sistemas. Cuando el drenaje está localizado, los tubos se colocan donde se necesitan, sin tener en cuenta una distribución o sistema especial.

Afirman Arellano y Ojeda (1) que los principales tipos de drenes empleados son las zanjas abiertas, los de tubo y por bombeo. Los drenes de tubo son los que usan con mayor frecuencia, pero los drenes de zanjas abiertas han dado los mejores resultados bajo ciertas condiciones. Los drenes por bombeo son ventajosos cuando existe presión artesiana en el agua que se va a drenar.

Según Grassi (11) los métodos de drenaje se clasifican en drenaje superficial y drenaje subsuperficial o profundo. El primero tiene como objetivo eliminar los excesos de agua libre de la superficie del suelo, proveniente de lluvias o por aplicación de agua durante el riego. El drenaje subsuperficial tiene como objetivo eliminar el exceso de agua que satura el suelo, proveniente del riego y/o lluvia.

Correa (4) dice que el drenaje superficial puede ejecutarse por drenes de tipo cerrado o abierto, o por medio de otras facilidades que controlan el agua freática. Los drenes de tipo abierto, se han utilizado para el drenaje subsuperficial cuando la permeabilidad de los suelos y los estratos impermeables o la profundidad de los desagües no permiten el uso de drenes cerrados (drenes de tubería).

2.3.1 Drenes abiertos y drenes cerrados

Gavande (9) dice que los drenes de zanjas abiertas se critican porque desperdician un terreno considerable, requieren una limpieza frecuente, están sujetos a la erosión y albergan y distribuyen malezas perjudiciales. Sin embargo, han demostrado ser útiles en tierras de bajo costo, y cuando las raíces de las plantas tienden a obstruir los tubos. Se usan cuando no existen salidas satisfactorias para los drenes de tubo, cuando el nivel freático está cerca a la superficie y la pendiente es muy pequeña.

ha para instalar drenes de tubo

Para Ros y Ayres (17), las zanjas abiertas solas no ofrecen un sistema completo de drenaje, sino que desempeñan una función igualmente importante de recibir y evacuar el exceso de agua superficial y actuando como salidas para los sistemas de desagüe inferior. Estas pueden ser :

- a. Canales naturales, todos los cauces de corriente son conductores de desagüe
- b. Zanjas de desagüe, son grandes zanjas abiertas que recogen de extensas áreas todo el flujo superficial libre
- c. Zanjas interceptoras, cuando los terrenos altos descargan una considerable cantidad de agua superficial a los terrenos bajos
- d. Canales de avenamiento de campos, canales anchos y poco profundos, con taludes laterales suficientemente llanos para poder efectuar faenas agrícolas
- e. Surcos muertos, regularmente espaciados, conducen el agua a través de un campo, con un gradiente no erosivo a un canal ordinario de desagüe.

Afirma Luthin (12) que normalmente, las zanjas abiertas no se diseñan para llevar un escurrimiento máximo, debido a que se requiere proporcionar secciones transversales grandes en las pendientes planas, y no sería factible económicamente su construcción. La capacidad de diseño de las zanjas abiertas está determinada por :

- a. La precipitación pluvial
- b. El tamaño del área contribuyente
- c. La topografía
- d. Las características del suelo

- e. La vegetación
- f. El grado de protección garantizada
- g. La frecuencia y altura de las inundaciones provenientes de ríos, lagos, etc
- h. En las zonas de riego, la necesidad de lixiviación o lavado del suelo.

Para Grassi (11), los drenes cerrados resuelven los problemas enumerados para los drenes abiertos. Sin embargo, sus costos de instalación son altos, tanto que resultan prohibitivos en muchos proyectos, si se tiene en cuenta el elevado costo de los materiales : tubos, filtros, estructuras accesorias. Pero, un sistema de drenaje entubado, puede diseñarse en base a los recursos que la técnica ofrece; y si se cuidan algunos detalles de construcción, su duración resulta prácticamente ilimitada con un mínimo de mantenimiento.

Para Correa (4), los tipos más comunes de drenes cerrados son los tubos de arcilla, asbesto-cemento o metal. Todos se colocan en líneas continuas a profundidades y pendientes determinadas. El agua libre en el suelo penetra en ellos a través de las juntas o perforaciones y fluye por gravedad hasta el desagüe.

2.4 Criterios para el diseño de drenajes

Según Arias (2), antes de proceder al diseño de un sistema de drenajes es necesario conocer :

- Superficie que va a ser drenada
- Volumen de aguas excedentes
- Período durante el cual se drenará
- Cultivo
- Condiciones del suelo para la excavación
- Pendientes del terreno

- Coeficiente de drenaje
- Uniformidad de la superficie del suelo.

Dice Gavande (9), que los criterios y procedimientos de diseño tienen que adaptarse a una función dirigida del sistema de drenaje. Cuando ocurren niveles altos de capa freática, con pocas fluctuaciones por periodos largos, el diseño debe estar basado mucho mejor en las condiciones establecidas. Si el problema se origina por niveles altos ocasionales de la capa freática, el diseño debe proyectarse con base en fluctuaciones o descensos del nivel de capa freática. En terrenos de riego, la función principal del sistema de drenaje puede ser reducir la amenaza de salinidad.

Afirman Roe y Ayres (17), que en el diseño de cualquier sistema de drenaje intervienen los factores siguientes :

- Propósito del sistema de drenaje
- Desagüe : profundidad y capacidad
- Gradientes prácticos obtenibles
- Características del suelo y del subsuelo
- Carácter de las precipitaciones locales y origen de la infiltración, si existe
- Cuenca : extensión, forma, topografía y cobertura vegetal.

Los Standars del Bureau of Reclamation (1964), citados por Grassi (11), enumeran los siguientes puntos a ser aclarados en el campo :

- Ubicación y capacidad de los drenes naturales
- Ubicación y condiciones de las salidas
- Ubicación y características de las fuentes de agua : canales, laterales, pozos, manantiales, lagunas, embalses, etc
- Prácticas de riego empleadas, tales como métodos de aplicación, eficiencia de riego, sistematización de los terrenos, etc
- Estimación del nivel de agua subterránea, e información relacionada con la fluctuación y dirección del movimiento

- Patrón de cultivos en el presente y tendencia futura
- Tipo, ubicación, espaciamiento, profundidad y efectividad de los drenes en el área o áreas vecinas
- Marcas de altura de crecientes que pueden ser usadas para evaluar su efecto
- Accidentes topográficos que podrían afectar la localización de los drenes
- Discusión con la gente que radica en el proyecto, en especial en las áreas cultivadas bajo riego.

Correa (4) afirma que el criterio de diseño de drenaje se desarrolla en dos formas :

a. A partir de los datos empíricos obtenidos por evaluación de los muchos sistemas de drenaje existentes, y

b. A partir del análisis teórico del problema, aplicando leyes físicas conocidas y probando la teoría a través de la evaluación de drenajes existentes.

2.5 Suelos orgánicos

Según De Rocha (5), los suelos orgánicos no ocupan extensiones tan grandes como los suelos minerales, pero en muchas regiones pueden tener gran importancia para la producción de cultivos. En muchos países como Alemania, Holanda, Noruega, Suecia, Rusia, Polonia e Irlanda, se han utilizado económicamente los materiales orgánicos y los productos turbosos.

Los suelos orgánicos, aunque poseen características muy distintas de las presentadas por los suelos minerales, hasta el momento no han sido debidamente estudiados; así, muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas son desconocidas.

2.5.1 Tipos físicos de turba

Según Roe y Ayres (17), existen muchos tipos de turba fácilmente distinguibles unos de otros mediante su origen y estructura evidentes. Algunos de estos tipos producen buenos suelos agrícolas; otros no, a menos que se les someta a modificaciones sustanciales. Los terrenos de marga se clasifican comúnmente así : turbas de musgo, sedimentarias, leñosas y de juncos y cañuelas.

Las turbas de musgo tienden a una fuerte reacción ácida con un valor de pH tan bajo como 4 en algunos casos. No dan resultados a la agricultura sin una notable adición de cal y fertilizadores o estiércol de corral. Tienen una fuerte afinidad al agua que las hace difíciles de desecar, y una vez drenadas están seriamente expuestas al deterioro por la sequía, puesto que no se consolidan.

Las turbas sedimentarias están casi siempre anegadas y no son fácilmente drenables. Cuando ocurre un exceso de drenaje, circunstancia que se presenta con frecuencia en la superficie, tienden a endurecerse y a formar costras. Si son profundas y difícilmente mezclables con suelo mineral, no son muy apropiadas para la agricultura.

Las turbas leñosas son formadas por lechos de troncos y ramaje, y parecen propensas a contraerse notablemente, debido a una oxidación menos completa de los minerales originales; aunque parecen tener un mayor porcentaje de fertilidad más rápidamente disponible. Son drenadas con bastante facilidad.

Las turbas de juncos y cañuelas son más compactas y ofrecen menor tendencia a la contracción y asentamiento que la mayor parte de las otras formas, y su fertilidad natural es elevada. Presentan una estructura fibrosa que las hace fácilmente drenables y bien aireadas si no están encharcadas. Por lo tanto, son más importantes para fines agrícolas.

2.5.2 Suelos turbosos

Para Foster (8), son suelos compuestos principalmente de materia orgánica, y tienen por base su volumen (veinte por ciento o más de materia orgánica por peso).

Según Roe y Ayres (17), se definen indistintamente como turba impura con 25% o más de materia inorgánica natural, como suelos muck conteniendo de 15 - 50% de material orgánico, y como suelos orgánicos conteniendo más del 50% de cenizas. La tierra turbosa está íntimamente ligada con la descomposición física, y el humus con la descomposición química. Los suelos turbosos son más convenientes en la agricultura que las verdaderas turbas, puesto que no están expuestos a asentamiento, son más fácilmente drenados y manipulados en las operaciones de cultivo y sus constituyentes alimenticios de las plantas son íntegramente aprovechables, o sea menos demanda de fertilizantes comerciales.

2.5.3 Asentamiento superficial en las turbas mediante drenaje y operaciones agrícolas

Luthin (12) conceptúa : "Uno de los problemas más importantes del drenaje de los suelos orgánicos, es el control del nivel de la capa freática con el fin de evitar el asentamiento y deterioro serio debido a oxidación o a la ocurrencia de incendios incontrolables. Antes de que se instalen los drenes de tubos, los suelos orgánicos se deben drenar superficialmente para permitir que se efectúe un asentamiento inicial. Al seleccionar las pendientes y las profundidades de los desagües, se deben estimar las cantidades de asentamiento. Estas cantidades pueden variar desde una fracción de pulgada hasta varias pulgadas al año".

Para Roe y Ayres (17) cuando las turbas se retoran y preparan para el cultivo, los primeros 60 cm quedan muy sueltos y susceptibles de alta consolidación. Después del avenamiento tal asentamiento tiene lugar en los primeros 3 a 6 años, después de los cuales continúa más lentamente por un período indefinido.

Como la utilización agrícola de la tierra de turba requiere una superficie compacta, se recurre a medios artificiales para estimular la consolidación, por ejemplo el empleo de rodillos pesados, después de drenar.

La mayor parte de las turbas absorben y retienen grandes cantidades de agua, aumentando en alto grado su volumen con la humedad, y contrayéndose rápidamente a un volumen mínimo al secarse. Se ha visto también que la oxidación lenta, debida a la acción bacteriológica, es una causa de contracción, y por el contrario el drenaje estimula la acción bacteriológica.

No puede darse cifras límites del asentamiento total de las turbas porque varía ampliamente según la profundidad de la turba y las condiciones climáticas. Se acepta generalmente que el asentamiento superficial de una ciénaga tiende a ser proporcional a la profundidad de la tabla de agua.

Powers, citado por Roe y Ayres (17), manifiesta que según su propia experiencia, la turba después del drenaje puede contraerse un cuarto de su volumen, lo cual es más visible al disminuir la altura sobre la tubería de drenaje.

2.5.4 Influjo de la turba en las instalaciones y funcionamiento del drenaje

Por regla general, la mayor parte del hundimiento que ocurre en las turbas tiene lugar por encima del nivel de los drenes. Incluso en casos normales, con solo un bajo grado de asentamiento por debajo de los drenes, ocurren serias perturbaciones del gradiente de la tubería, especialmente en los sitios más blandos de la plantilla de las zanjas. En casos excepcionales en que ocurre un excesivo asentamiento por debajo de los drenes, la instalación completa es trastornada por los intensos hundimientos que ocurren con el tiempo en las líneas de drenaje (17).

2.3.5 Algunas ventajas de las zanjas descubiertas

En el caso de turba de poco espesor sobre capas inferiores exentas de agua o sobre capas arcillosas, existe siempre el peligro de drenaje extensivo, especialmente durante los períodos de sequía y calor extremo con el consiguiente perjuicio para los cultivos. En estos casos si se dispone de agua superficial, puede invertirse la función primordial de las zanjas descubiertas convirtiéndolas en canales de irrigación subterráneos a los cuales se conduce el agua mediante mangueras, tubería superficial o canales y reteniéndola allí el tiempo necesario con solo taponar las zanjas en ambos extremos, convirtiendo así las capas inferiores de turba en un gran depósito de agua (17).

2.3.6 Turberas de gran espesor

Cuando la capa de turba excede los 1,50 m, se designan desde el punto de vista del drenaje, como turbas de gran espesor. Cuando el objeto del proyecto es drenar el suelo, el drenaje es algo parecido al de los terrenos llanos en suelos minerales. Sin embargo, el equivalente de humedad de los suelos de turba no es una cifra definida, puesto que no tiene un significado de apreciación. Por ello, el diseño del drenaje por turbera en un suelo de turba no es tan sencillo como el de los suelos minerales (17).

2.3.7 Especificación y profundidad de los drenes en turberas de gran espesor

Este es un problema que se presenta en todo el mundo, y considerando la amplia variación de las condiciones de las ciénagas y la notable diferencia en condiciones climáticas, es conveniente un acuerdo entre las autoridades de la materia en las técnicas que den los mejores resultados.

Farlam, citado por Roe y Ayres (17), halló en Alemania que cuando la profundidad máxima de la turba era de menos de 36 pies (unos 11 m), al excavar zanjas de 2,10 m con espaciamiento de unos 75 - 100 m, éstas funcionaban como colectores de tuberías laterales paralelas.

Pippin, citado por Roe y Ayres (17), asegura que son mejores muchos drenajes poco profundos, que unas pocas zanjas profundas. El factor determinante debe ser el hábito de arraigamiento de los cultivos.

En suelos orgánicos de Florida, Ranson, citado por Roe y Ayres (17), aboga por drenos profundos por debajo de la zona de las raíces, esta práctica parece aceptada.

Snalley, citado por Roe y Ayres (17), al Norte de Indiana y Sur de Michigan, recomienda el siguiente espaciamiento y profundidad para tuberías laterales en turbas profundas 25 - 60 m y 1,00 - 1,20 m, respectivamente.

Powers, citado por Roe y Ayres (17) en Oregon, encontró un espaciamiento de 15 - 20 m y una profundidad de 1,20 m, asegurando que la turba puede contraerse una cuarta parte de su volumen.

Correa (4) afirma que la profundidad de un canal en suelos orgánicos debe ser de 0,6 - 1,5 m y el espaciamiento de 18 - 60 m, variando éste último de acuerdo a la permeabilidad del suelo y a las necesidades del cultivo.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del área

La zona en estudio está localizada en el Valle de Sibundoy, Intendencia del Putumayo, Colombia, Suramérica.

El Valle está ubicado en la cordillera centro oriental, a 2.100 m sobre el nivel del mar, y posee una extensión aproximada de 9.000 hectáreas (16).

Su posición geográfica es de $1^{\circ} 14'$ de Latitud Norte y $76^{\circ} 59'$ de Longitud al Oeste del Meridiano de Greenwich (Figuras 1 y 2).

Se tomaron aproximadamente 2 hectáreas, localizadas en la finca "La Menta", propiedad de INCORA, a la orilla izquierda de la quebrada San Antonio; por el otro costado del lote y paralelo a la quebrada pasa un canal de drenaje.

3.2 Clima

Según Ospina et al (16), la precipitación anual total es de 1.432 mm en la estación de Sibundoy y de 2.151 mm en la estación de Balsayaco. En la estación de La Menta, la precipitación total anual durante el año de 1974 fue de 2.214 mm. El clima es más húmedo en Balsayaco que en Sibundoy pero en ambos casos, aproximadamente el 50% de la lluvia cae en los meses de Mayo a Agosto, y la restante se reparte en los otros periodos.

Molina (15) e INCORA (10) reportan una precipitación anual de 1.443 mm y 1.496 mm en las estaciones de Sibundoy y Balsayaco, respectivamente.

La evaporación potencial, calculada según Holdridge, es de 971 mm registrándose así un exceso de precipitación sobre la evapotranspiración

**LOCALIZACION DE LA
INTENDENCIA DEL PUTUMAYO
EN COLOMBIA**

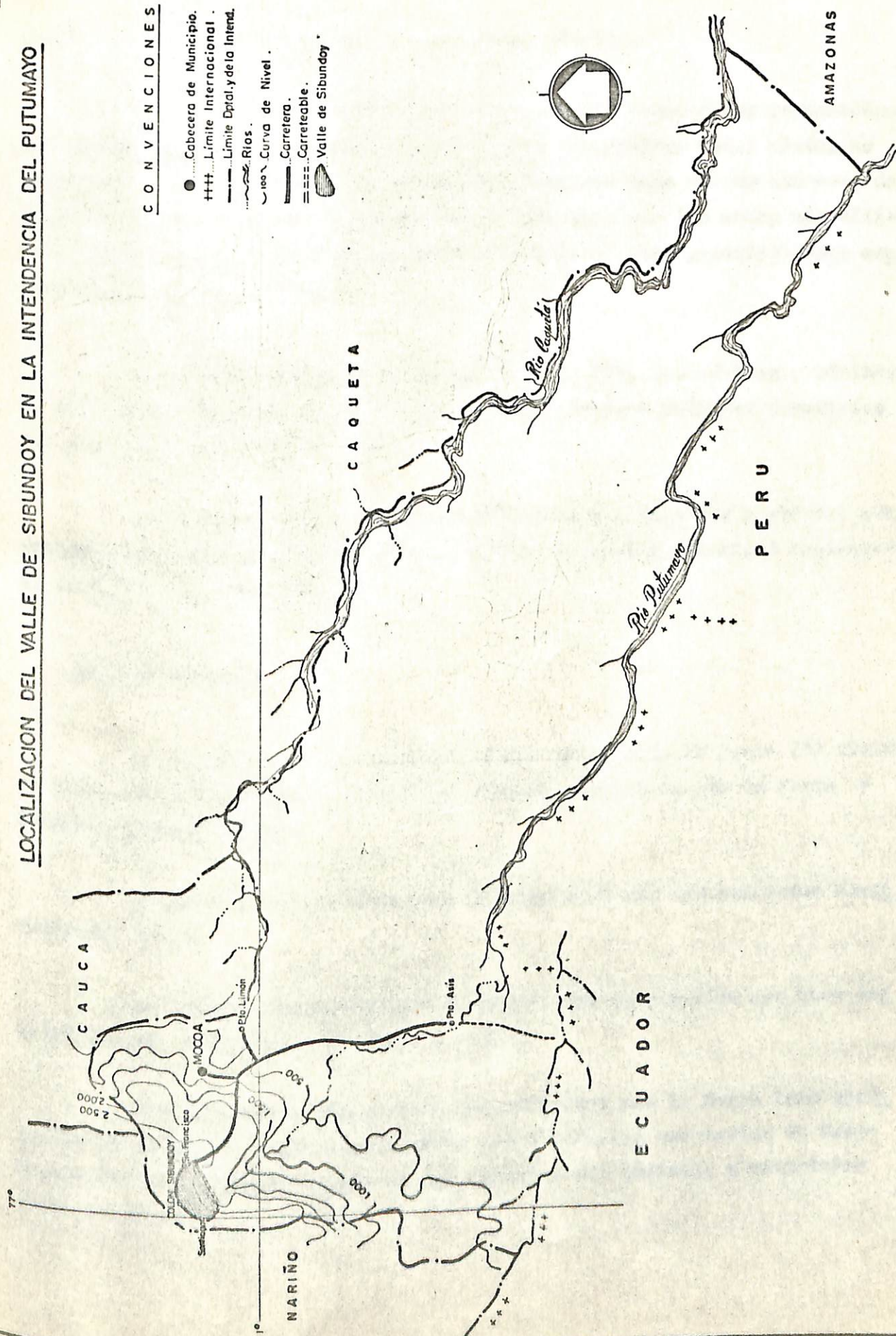


CONVENCIONES

- Capital de Colombia
- Capital de Departamento
- +++ Limite Internacional
- Limite Departamental
- Intend. del Putumayo

ESCALA
0 50 100 Kms.

LOCALIZACION DEL VALLE DE SIBUNDOY EN LA INTENDENCIA DEL PUTUMAYO



anual, lo que conlleva a tener un excedente hídrico.

La temperatura media anual es de $16,3^{\circ}\text{C}$, según datos presentados por Ospina et al (16). Para Molina (15), la temperatura media máxima es de $21,7^{\circ}\text{C}$ y la media mínima es de $10,3^{\circ}\text{C}$, registrándose valores extremos de $30,0^{\circ}\text{C}$ y $3,8^{\circ}\text{C}$. En Octubre, Noviembre y Diciembre son los meses más cálidos. Ospina et al (16) hacen referencia a heladas, que principalmente ocurren en el mes de Septiembre.

La humedad relativa media anual es de 79%, con máximas y mínimas de 76% y 84%. En general, los meses de menor humedad relativa concuerdan con los meses más secos del año.

Los vientos tienen una dirección Sureste, la mayor parte del año; una velocidad mínima promedio de 10,5 m/seg; la máxima velocidad registrada es de 12,5 m/seg (10, 16).

3.3 Fisiografía

De acuerdo con las características generales, De Rocha (6) divide el Valle en tres paisajes : Montañas, Llanura aluvial de pie de Monte y Llanura Fluvio-palustre.

El paisaje de montañas está representado por las porciones marginales del Valle.

La llanura aluvial de pie de monte está constituida por tres unidades que son : Abanicos, terrazas y vegas.

Los abanicos aluviales son identificados por la forma como aparecen en el paisaje y están constituidos por materiales que varían de fragmentos de roca, principalmente en las partes altas (ápice), a materiales finos en el pie.

Las terrazas son relativamente recientes y se encuentran en las partes cercanas a los Ríos San Pedro y Putumayo.

Las vegas son las áreas más recientes, construidas por deposiciones aluviales y sujetas a inundaciones periódicas. Se encuentran en las porciones adyacentes a los Ríos Quinchoa, San Pedro y Putumayo.

La llanura fluvio-palustre, es aquella área constituida por depósitos orgánicos puros y por materiales minerales interestratificados, mezclados o depositados sobre materiales orgánicos.

Dentro de la llanura fluvio-palustre se pueden distinguir dos unidades fisiográficas :

La denominada palustre constituida por depósitos orgánicos puros y por depósitos orgánicos con alguna influencia coluvial o aluvial. Los depósitos orgánicos puros se han formado a través de una vegetación acuática donde predominan juncos y scirpus, que dan origen a depósitos flotantes y a depósitos más estables donde la profundidad de las aguas no era muy acentuada.

La otra unidad es de naturaleza fluvial y está compuesta por diques y aluviones con influencia orgánica. Los diques no están aun muy desarrollados siendo relativamente estrechos y bajos, solamente ocupan una pequeña porción a lo largo de los Ríos Putumayo, Quinchoa y San Pedro.

La poca evolución de estos diques se debe posiblemente al cambio de cauce de los ríos. Los aluviones con influencia orgánica se presentan en las zonas de explayamiento de los ríos donde el material orgánico se encuentra interestratificado con el material mineral. También pueden presentarse como depósitos minerales de origen coluvial o aluvial mezclado con material orgánico.

En zonas de cauces antiguos y de aluviones indiferenciados, generalmente los depósitos orgánicos están enterrados por materiales minerales

o pueden estar sepultando materiales minerales.

3.4 Hidrografía y drenaje

Para Royo y Gómez, citados por Manjarrés et al (14), en el páramo de Cascabel nacen varias sierras, en posición radiada, las que originan tres hoyas hidrográficas siendo una de ellas la del Putumayo. Cuando las aguas del Río Putumayo llegan a la parte central del Valle, desaguan en una planicie pantanosa por donde divaga su cauce. Lo anterior confirma la opinión de Mohrer, de que el Valle de Sibundoy es una altiplanicie, cubierta por un antiguo lago y que está siendo hoy desaguada por el Río Putumayo.

Las corrientes principales del Valle son : Río San Pedro que desemboca en el Río Putumayo, en la Laguna de Las Cochas; Río Quínchos, que se une al Putumayo en la vereda Balsayaco, y Río Tangua, que al igual que numerosas quebradas forman parte de la red hidrográfica del Valle.

3.5 Suelos

Según Ospina et al (16), el suelo bajo estudio pertenece a la serie Cochas. Son suelos completamente orgánicos, encharcables y cuyo drenaje natural es muy pobre. No son suelos propiamente dichos sino capas sucesivas de materiales vegetales parcialmente descompuestos y aun sin descomponer debido a que el nivel freático está superficial y aun por encima, la mayor parte del año, que no permite la formación de suelo. Los suelos que pertenecen a la serie Cochas son muy típicos y homogéneos. Cuando el drenaje natural se ha mejorado, con la construcción de zanjas, las capas próximas y superficiales han alcanzado una mayor descomposición de la materia orgánica.

De Rocha (6) opina que en términos generales, los suelos del Valle de Sibundoy son poco evolucionados. Si se tiene en cuenta las características morfológicas de los perfiles y el clima ambiental, se establecen provisionalmente regímenes de humedad. Así en las terrazas y abanicos generalmente el régimen es údico y perúdico. En otras posiciones es acúico

o peracético. En base al clima ambiental el régimen de temperatura de los suelos se presume que es isotérmico.

Teniendo en cuenta los estudios de suelos hechos por Manjarrés y Marín (14) y Ospina et al (16), los suelos del Valle de Sibundoy fueron clasificados preliminarmente por Da Rocha (6) a nivel de gran grupo, de acuerdo al Soil Survey Staff (USDA, 197).

En las partes montañosas adyacentes al Valle ocurren Dystrandepts mientras que en las partes altas de los abanicos aluviales (ápice), predominan los Humitropepts.

En las partes bajas (pie) de los abanicos y terrazas ocurren principalmente Dystropepts y Tropaquepts, con inclusión de Entisoles. En las vegas ocurren Tropaquepts y algo de Humitropepts. En los diques en general, predominan los Entisoles y en el paisaje fluvio-palustre Tropofibrists.

3.6 Levantamiento topográfico

Se incluye el área, pendientes longitudinales y transversales, todo con referencia a un BM fijo, para una posterior determinación del asentamiento (Figura 3).

3.7 Pozos de observación

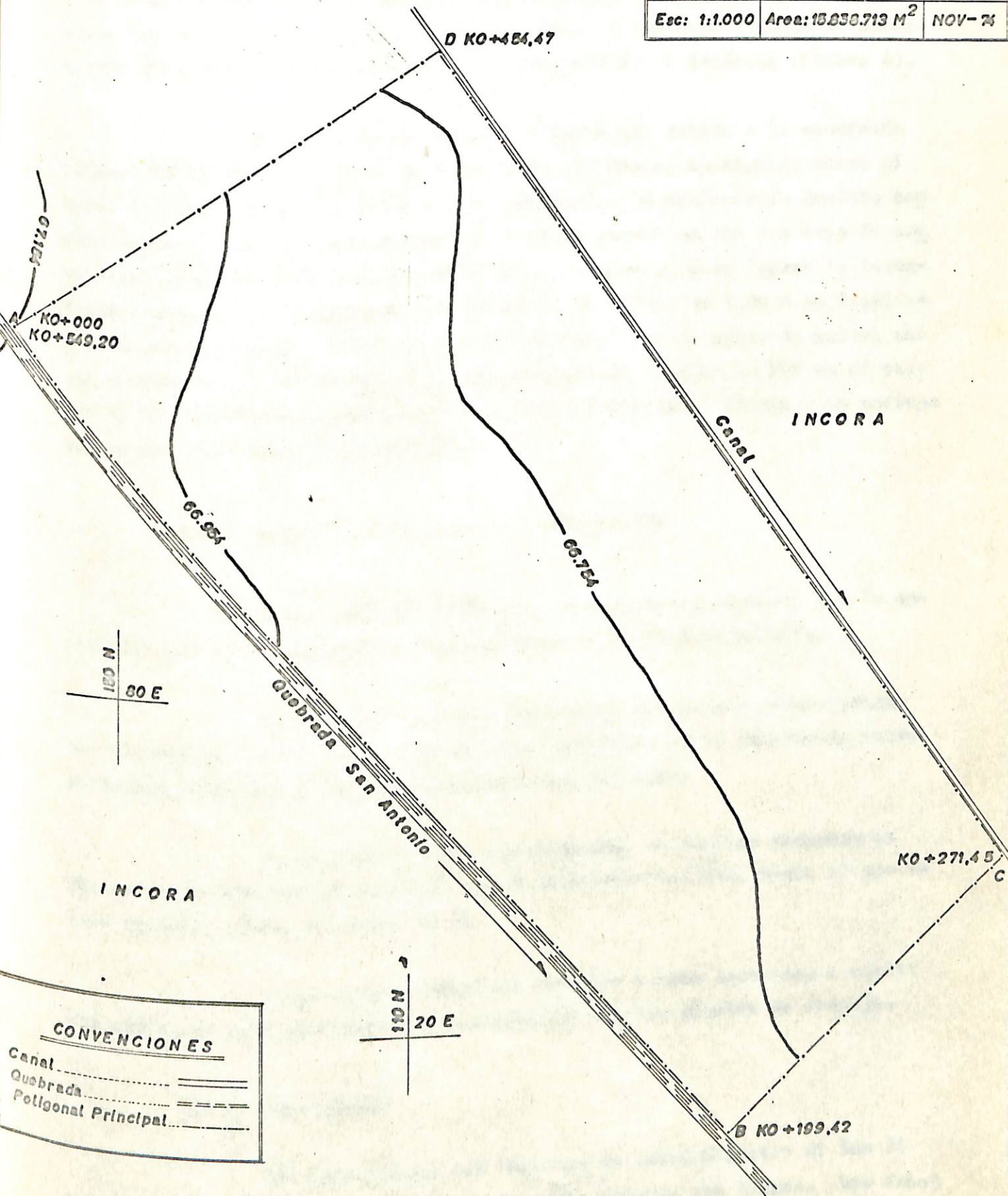
3.7.1 Instalación de la red de pozos de observación

Se escogieron 26 sitios equidistantes de acuerdo al plano topográfico, en cuadrícula de 20 m x 40 m, y luego se ubicaron en el terreno. Luego se procedió a perforar con un barrenador de 0,12 m de diámetro y una longitud de 1,80 m. Cabe anotar que se hicieron perforaciones hasta los 4 m de profundidad y no se encontró capa impermeable. Posteriormente se depositó en las perforaciones de 1,50 m una capa de 0,10 m de espesor de cascajo mediano y uniforme en el fondo. Se colocaron los tubos de 1,50

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

POR: Victor Mauricio Gonzalez.

Esc: 1:1.000 Area: 15.838.713 M² NOV-74



m de longitud por 2" de diámetro, con perforaciones de 3/16" en espiral, 4 perforaciones cada 0,30 m de tubo. Los pozos sirven como sistema de observación de las fluctuaciones y profundidades del nivel freático (Figura 4).

Como hecho importante se anota que debido a la condición física del suelo y al estado de saturación del mismo, en algunos casos al hacer la penetración del barreno y al retirarlo, la perforación quedaba completamente obstruida, agravándose lo anterior en sitios con una capa de arena depositada por inundaciones anteriores. Entonces, para lograr la instalación correcta, se construyó una formaleta de madera de 1,60 m de longitud y 0,20 m x 0,20 m en cuadro, la que se introdujo con la ayuda de palas, una vez enterrada a la profundidad deseada, se colocó el tubo de PVC en el centro de la formaleta, y entre ésta y el tubo se virvió el filtro y se extrajo lentamente la formaleta (Figura 5).

3.7.2 Lectura en los pozos de observación

Se utilizó un flexómetro, que al hacer contacto con la superficie del agua, registraba instantáneamente en el galvanómetro.

Como todos los tubos quedaron a una altura sobresaliente del terreno de 0,25 m, la altura del nivel freático es la diferencia entre la lectura obtenida y la parte sobresaliente del tubo.

En la primera etapa del estudio, se tomaron lecturas en los pozos de observación desde el mes de Noviembre de 1974, hasta el mes de Mayo de 1975, siendo el total de 11.

En la segunda etapa se llevaron a cabo lecturas, a partir del día en el cual se terminó la construcción de los canales de drenaje.

3.7.3 Hidrogramas

Se confrontaron las lecturas de nivel freático de los 26 pozos, con el tiempo y la precipitación caída durante ese tiempo. Los datos

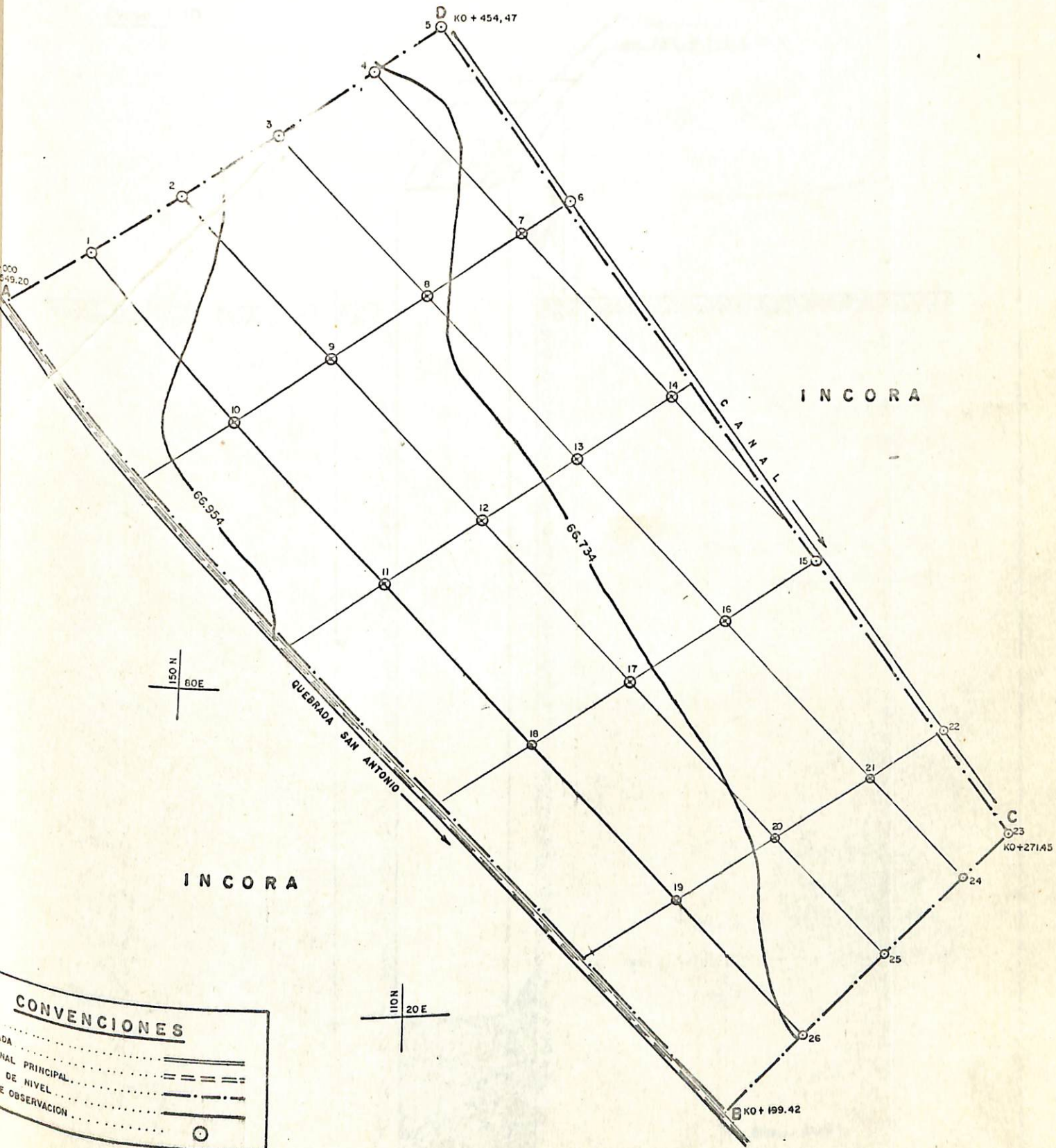
LOCALIZACION DE LOS POZOS DE OBSERVACION

POR: VICTOR MAURICIO GONZALEZ M.

ESCALA 1 : 1000

AREA : 15.838,713 M2

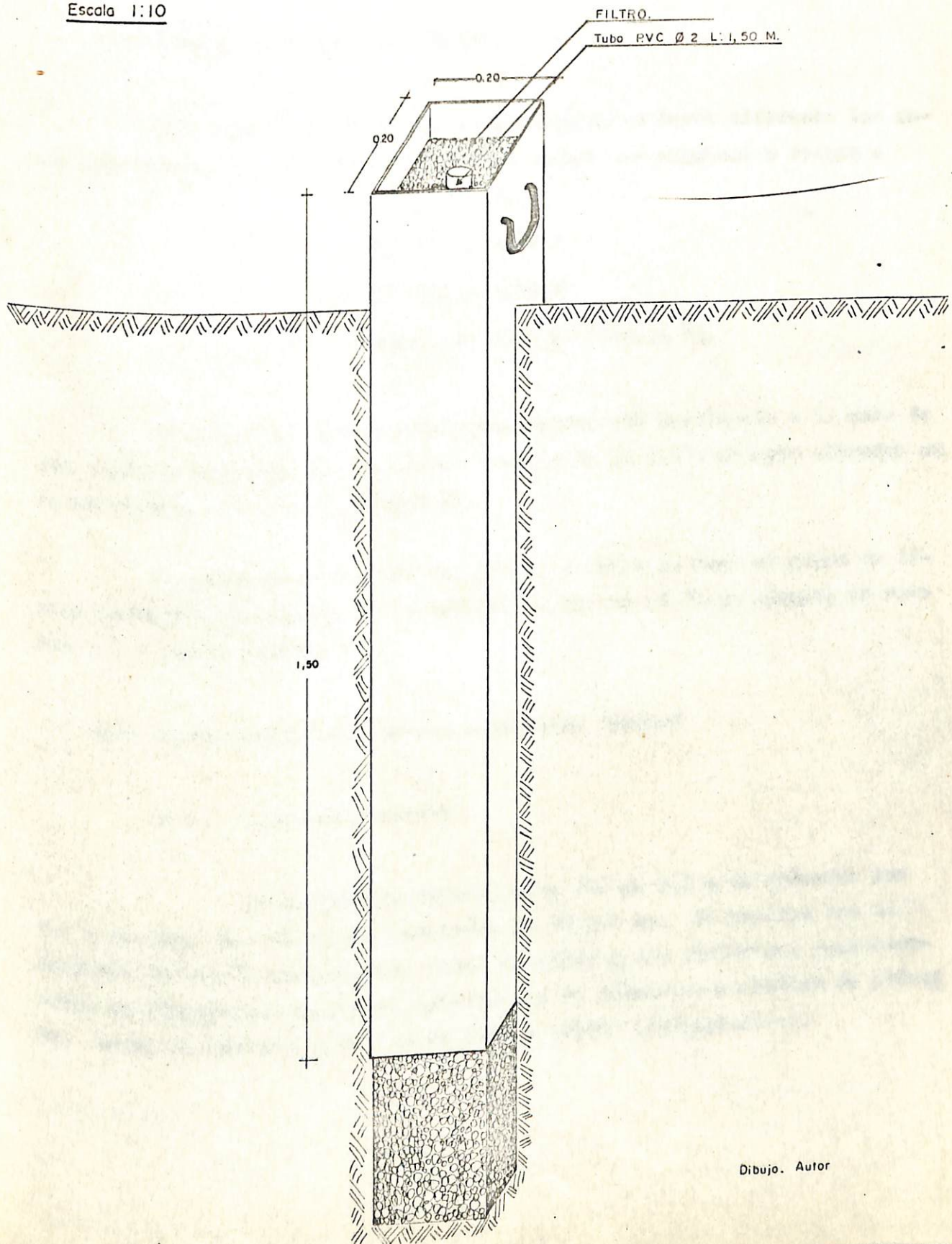
FECHA : NOV. 1974



FORMALETA DE MADERA

Utilizada para la Instalación
de los pozos de observación

Escala 1:10



Dibujo. Autor

de precipitación fueron obtenidos de la estación "La Menta", puesto que dicha estación es la más cercana al lote en estudio.

3.8 Líneas Isóbatas e Isohipsas

En el plano de isóbatas se graficaron en forma diferente las zonas cuyo nivel freático está comprendido entre los siguientes rangos :

De 0 a 0,10 m

De 0,10 a 0,20 m

Mayor de 0,20 m (Figura 6).

El plano de líneas isohipsas, se elaboró restándole a la cota de cada pozo de observación, la máxima lectura de la tabla de agua obtenida en el transcurso del ensayo (Figura 7).

El plano de dirección del flujo, se hizo en base al plano de líneas isohipsas, partiendo de la suposición de que el flujo siempre es normal a las mismas (Figura 8).

3.9 Determinación de algunos parámetros físicos

3.9.1 Densidad aparente

Se utilizaron cilindros de PVC de 0,5 m de diámetro por 0,7 m de alto, con un volumen promedio de 163,34 cc. Se tomaron las 26 muestras del suelo directamente sobre el sitio y sin disturbar; posteriormente se almacenaron en forma individual y se colocaron en bolsas de plástico. Luego se llevaron a la estufa (105 - 110°C) (7) (Apéndice).

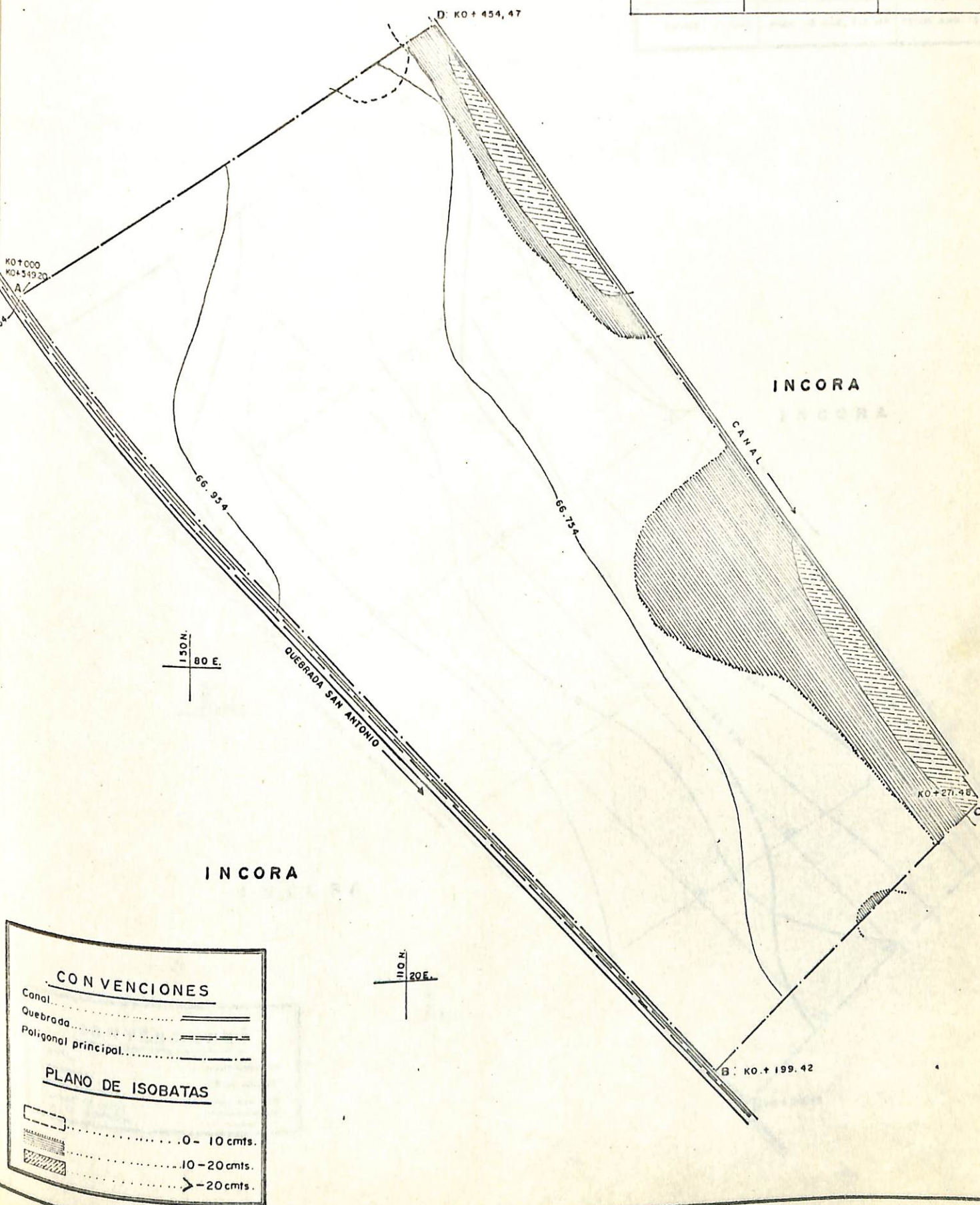
PLANO DE ISOBATAS

POR: VICTOR MAURICIO GONZALEZ

Esc: 1:1.000

Area: 15.638,713 M²

Fecha: Nov /74



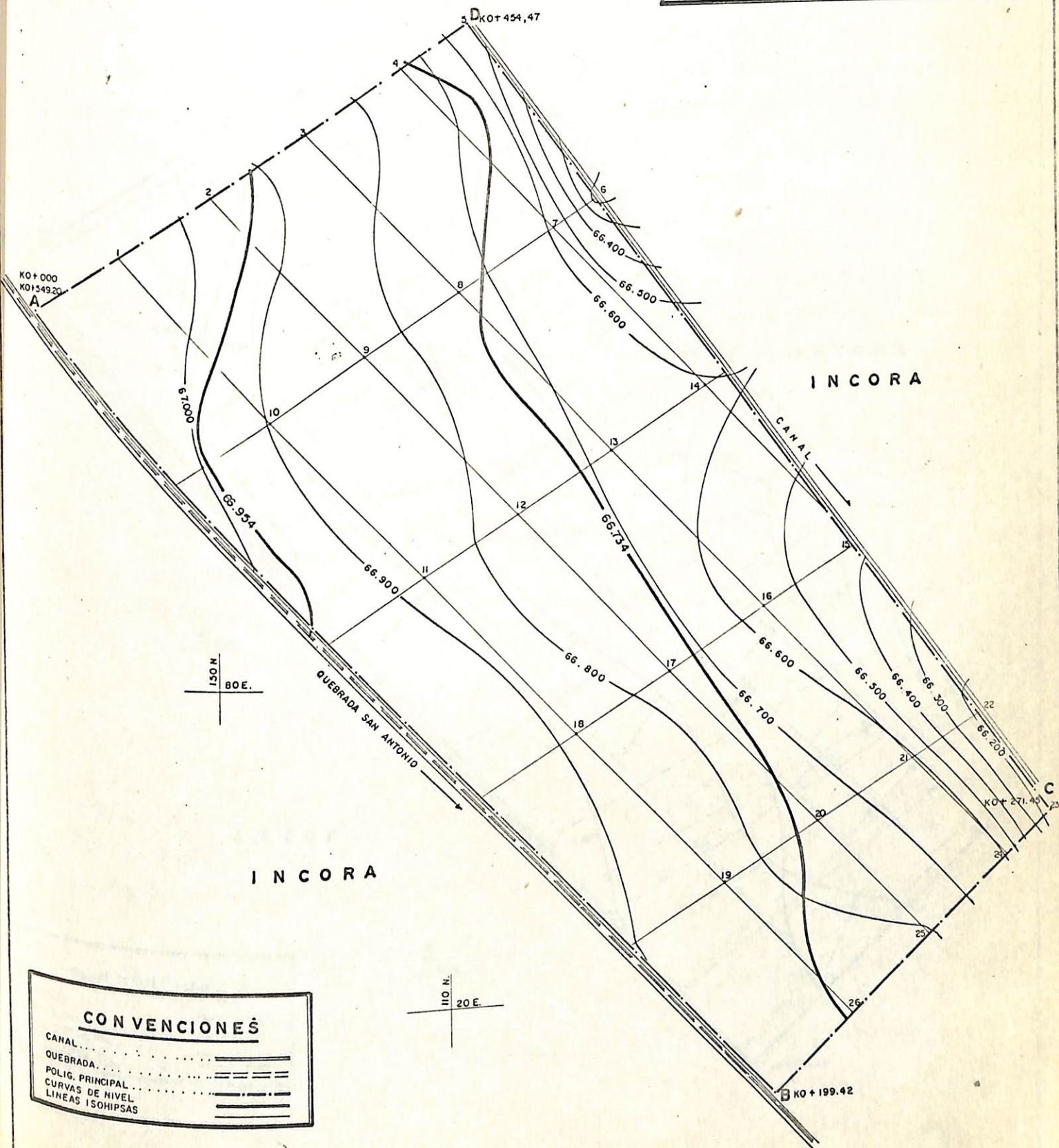
PLANO DE LINEAS ISOHIPSAS

LEVANTO : VICTOR MAURICIO GONZALEZ M.

ESCALA : 1:1000

AREA : 15.838, 713 M²

FECHA: Abril-75



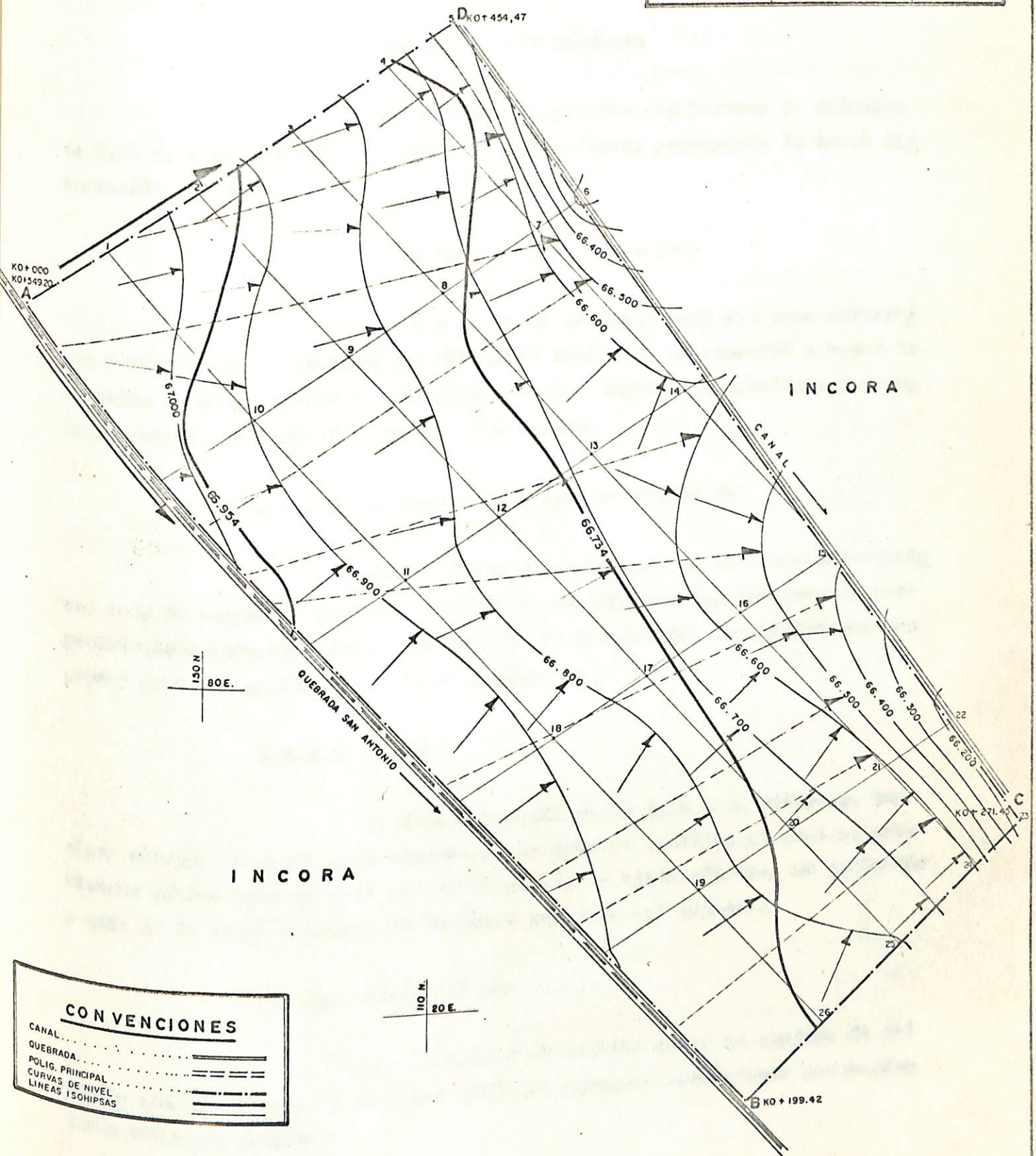
CONVENCIONES

- CANAL.....
- QUEBRADA.....
- POLIG. PRINCIPAL.....
- CURVAS DE NIVEL.....
- LINEAS ISOHIPSAS.....

PLANO DE DIRECCION DEL FLUJO

LEVANTO : VICTOR MAURICIO GONZALEZ M.

ESCALA : 1:1000 AREA : 15.839, 713 M² FECHA: Abril-75



3.9.2 Conductividad hidráulica (Apéndice)

3.9.2.1 Abertura de los agujeros

Se hicieron 10 agujeros con barrenos de diámetro de 0,12 m, a un promedio de 1,05 m de profundidad, procurando la menor disturbación del suelo.

3.9.2.2 Remoción del agua del agujero

Una vez obtenido el equilibrio del agua subterránea y registrada la profundidad del nivel freático, se procedió a hacer la remoción de ésta, contando para ello con una motobomba a gasolina, y procurando echar una cantidad mayor a los 0,40 m.

3.9.2.3 Medición de la tasa de elevación

Con la ayuda de cronómetro se hicieron observaciones cada 20 segundos, para un total de 6, registrando las lecturas correspondientes a cada intervalo. Se tuvo en cuenta iniciar las mediciones tan pronto como fue posible después de echar.

3.9.2.4 Equipo

Un flotador esférico de 0,10 m de diámetro, una cinta métrica de acero tipo comercial, un soporte metálico el cual es presionado contra el piso y al que se le acopla la cinta métrica, un indicador y guía de la cinta acoplado en la parte superior del soporte.

3.9.2.5 Procedimiento

a. Se colocó el soporte cerca al agujero de tal manera que el flotador y la cinta metálica quedaran exactamente perpendiculares sobre el agujero.

b. Se bajó el flotador al nivel de la superficie del agua subterránea, y se registró el nivel

c. Se elevó el flotador cuidadosamente desde el agujero y se giró lateralmente el soporte

d. Se achicó el agua del agujero hasta que el nivel se redujo a un nivel superior a los 0,40 m

e. Se regresó el soporte a su posición inicial, y se colocó el flotador sobre la superficie del agua. Entonces se iniciaron las lecturas tan pronto como fue posible.

3.9.2.6 Cálculo de la conductividad hidráulica (Figura 9)

Para el cálculo de la conductividad hidráulica se utilizó la siguiente ecuación propuesta por Van Beers (18) :

$$K = \frac{3.600 r^2}{(H + 10 r) \left(2 - \frac{y}{H}\right) y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta H}$$

donde :

- K = conductividad hidráulica, m/día
- H = profundidad del hueco debajo del nivel freático, m
- r = radio de la perforación, m
- y = distancia entre el nivel del agua subterránea y el nivel promedio del agua en el hueco durante el tiempo de medición, m

3.10 Diseño del sistema

Se tuvo en cuenta la precipitación, la humedad relativa, la clase textural del suelo, la densidad aparente y en base a la conductividad hidráulica, y el cultivo a establecerse en el área.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

El régimen freático del Valle de Sibundoy en general, y del terreno en estudio en particular, está regido primordialmente por la topografía plana. Esto implica que al diseñar un sistema de drenaje en la región, todos los parámetros estarán sujetos al relieve imperante, lo cual se constituye en una característica negativa, ya que se limita a ciertos tipos y sistemas de drenaje.

Otro aspecto no menos importante, es el relacionado con el tipo de suelos encontrados. El desconocimiento de las características y comportamiento físico de los suelos de turba es acentuado; esto último debe tenerse muy en cuenta cuando se piensa en diseñar sistemas de drenaje o de riego, ya que parece comprobado que el proceso de humedecimiento-secamiento es irreversible, lo que obliga a efectuar prácticas de avenamiento con precauciones extremas, pues de lo contrario podría presentarse una pérdida con fines agrícolas, del suelo de turba. Además, existe un hecho que no puede desconocerse y es el relacionado con el asentamiento de los suelos orgánicos cuando son drenados. Es decir, al secar la turba de una zona determinada, y debido al mencionado asentamiento, podría presentarse una inversión en el comportamiento hidráulico de las tierras.

Por todo lo anterior, y teniendo en cuenta que no existe uniformidad de criterios, en cuanto al diseño de drenajes en suelos orgánicos, el presente estudio únicamente debe tomarse como una base para posteriores ensayos al respecto y no como un planteamiento definitivo. Esto es reforzado por la circunstancia de que el fenómeno de asentamiento requiere de un tiempo más o menos considerable.

A continuación se presentan los resultados del estudio con el análisis correspondiente, en los casos en que se facilita. Es de advertir que para lograr una mayor agilidad se procuró seguir el orden planteado en el capítulo de Materiales y Métodos, discutiendo los parámetros que se determinaron y que sirvieron de criterio para el diseño final.

En la Tabla I (Apéndice) se presentan los niveles freáticos críticos de los 26 pozos de observación, en la primera etapa, o sea antes de construir la red de drenes. Es de observar que el promedio de 0,094 m, implica un estado de inundación, lo cual es representativo de toda la zona de turba del Valle de Sibundoy. En los hidrogramas (Figuras 10 a 35), resulta el hecho de que a pesar de haber transcurrido la primera etapa en época de verano, predominaron las profundidades mínimas. Esto se debe a que el régimen freático del Valle de Sibundoy depende en alto grado de las áreas de contribución, o sea de las laderas periféricas y la capacidad de descarga hídrica en la Garganta de Baloyazo es insuficiente. En los mismos hidrogramas se comprueba el estado de inundación permanente, ya que no existe una relación inversa definida entre la precipitación pluvial y la profundidad del nivel freático. Es decir, si la fluctuación de la tabla de agua dependiese prioritariamente de la magnitud de la lluvia, sería de esperar que a mayor precipitación menor profundidad del nivel freático, situación que en términos generales, no se presentó en este caso.

El plano de las líneas isóbatas se construyó para tener una evidencia gráfica del estado de inundación permanente del terreno en estudio, y no para tener un criterio para el diseño del drenaje, como ocurre con la mayoría de los casos. Sin embargo, se confirma a través del mencionado plano, que la zona adyacente al canal perimetral es la de mayor profundidad del nivel freático y que dicho canal podría cumplir la función de recipiente de descarga al sistema.

El plano de líneas isohipás (Figura 7), sirvió fundamentalmente para fijar la dirección predominante del flujo (Figura 8). Esta información era fundamental para el diseño; además, ratificó los sentidos longitudinal y transversal de la pendiente, que en el terreno es muy escasa. Debe explicarse que las líneas indicadoras de la dirección del flujo, tienen principalmente un carácter cualitativo, ya que dicha dirección es aproximadamente perpendicular a las líneas isohipás. Lo anterior se reduce en absoluto la importancia que la mencionada dirección tiene para el diseño.

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

SIN DRENAR

DRENADO

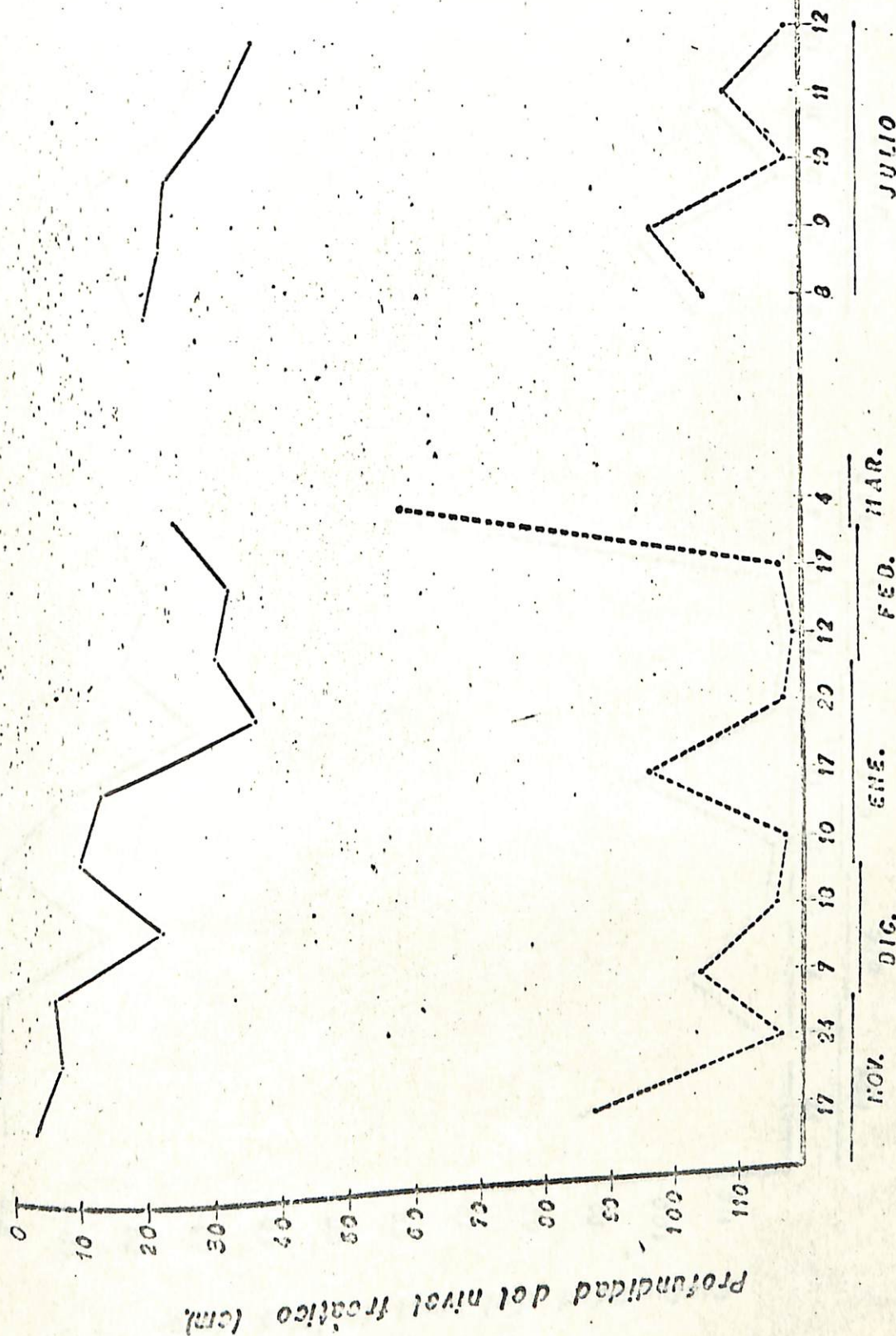


FIG 12. VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo Nº 3

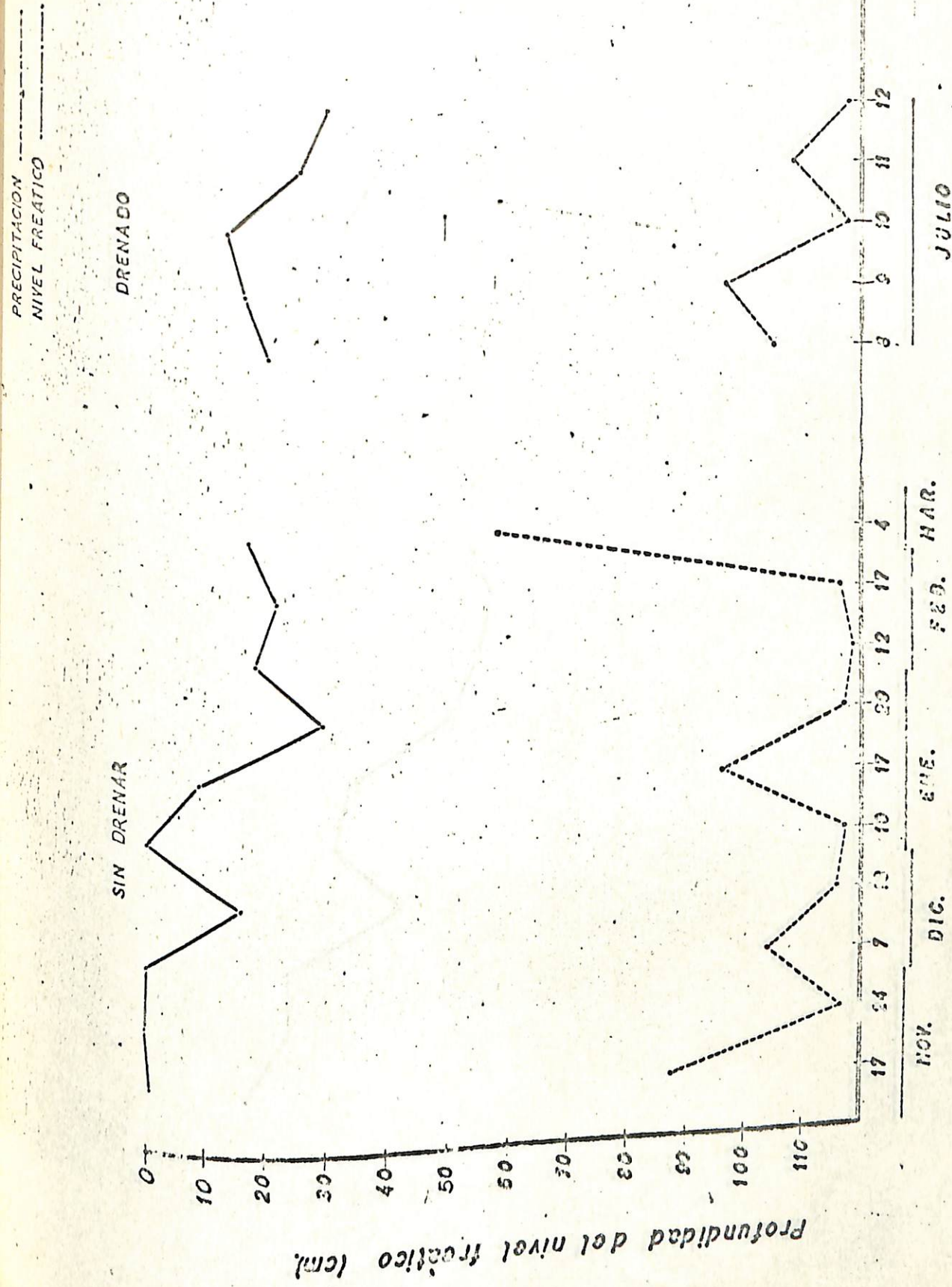


Fig 13.- VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 4

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

SIN DRENAR

DRENADO.

Profundidad del nivel freático (cm).

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110

Profundidad del nivel freático (cm).

0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30

Precipitación en mm.

- 42 -

NOV. DIC. ENE. FEB. MAR.

JULIO

Fig 14... VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 5

SIN DRENAR

DRENADO

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

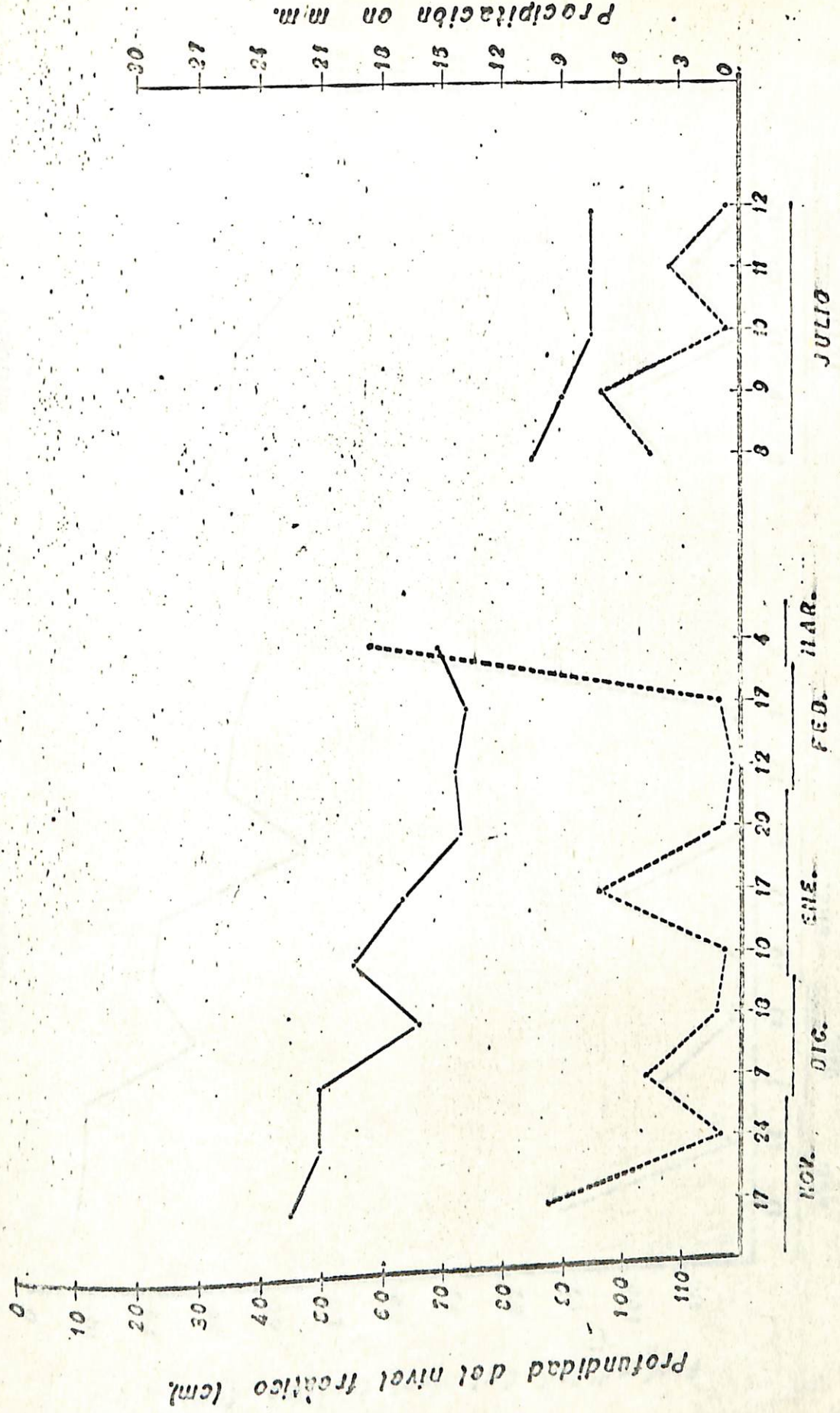


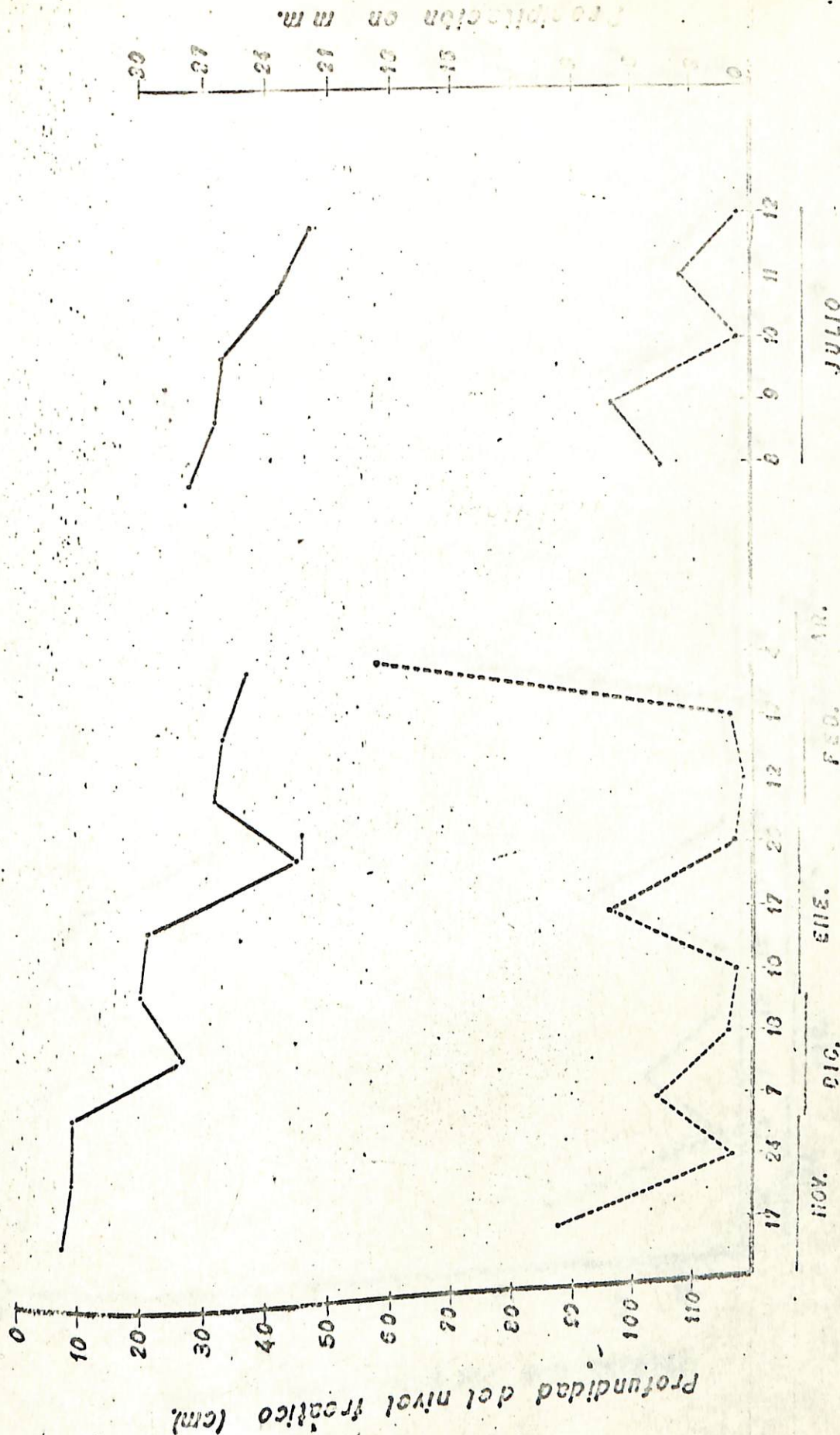
Fig 15.- VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 6

PRECIPITACION ---
NIVEL FREATICO —

SIN DRENAR

DRENADO



PRECIPITACION
NIVEL FREÁTICO

SIN DRENAR

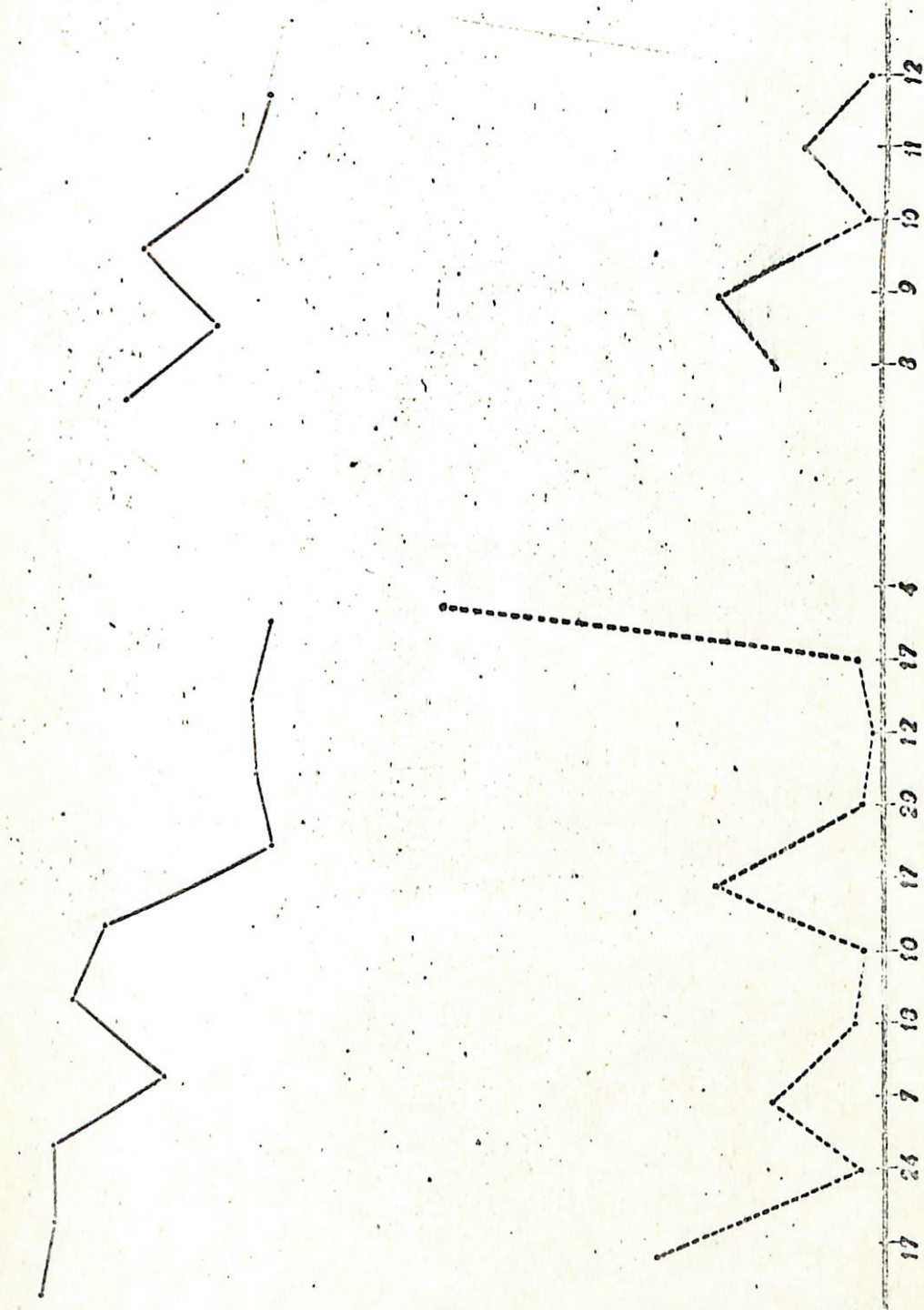
DRENADO

Profundidad del nivel freático (cm)

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110

0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30

Precipitación en mm.



NOV. DIC. ENE. FEB. MAR.

JULIO

Fig 17.-VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO CON RELACION

AL TIEMPO

Pozo N° 8

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

SIN DRENAR

DRENADO

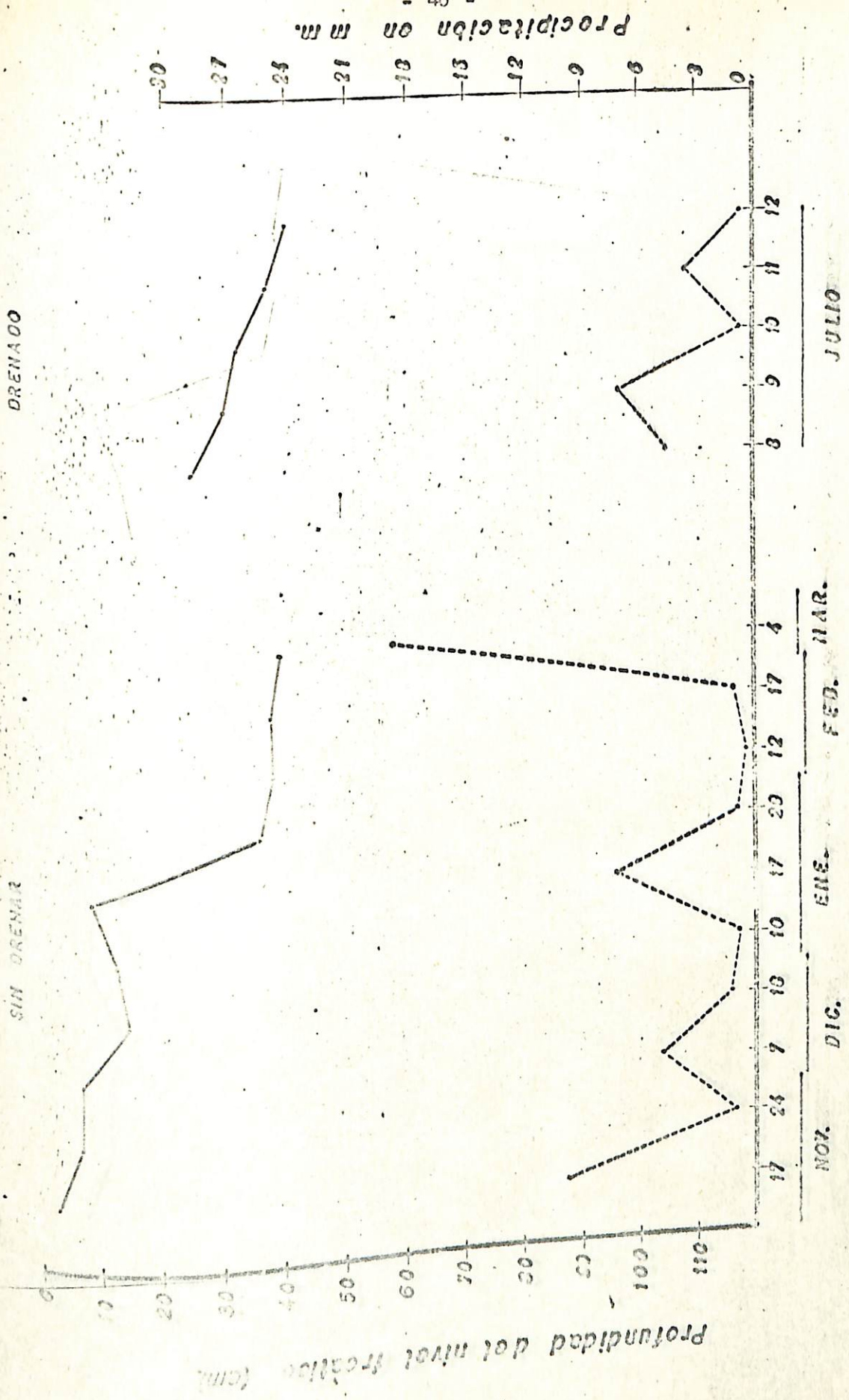


FIG 13.— VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 9

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR

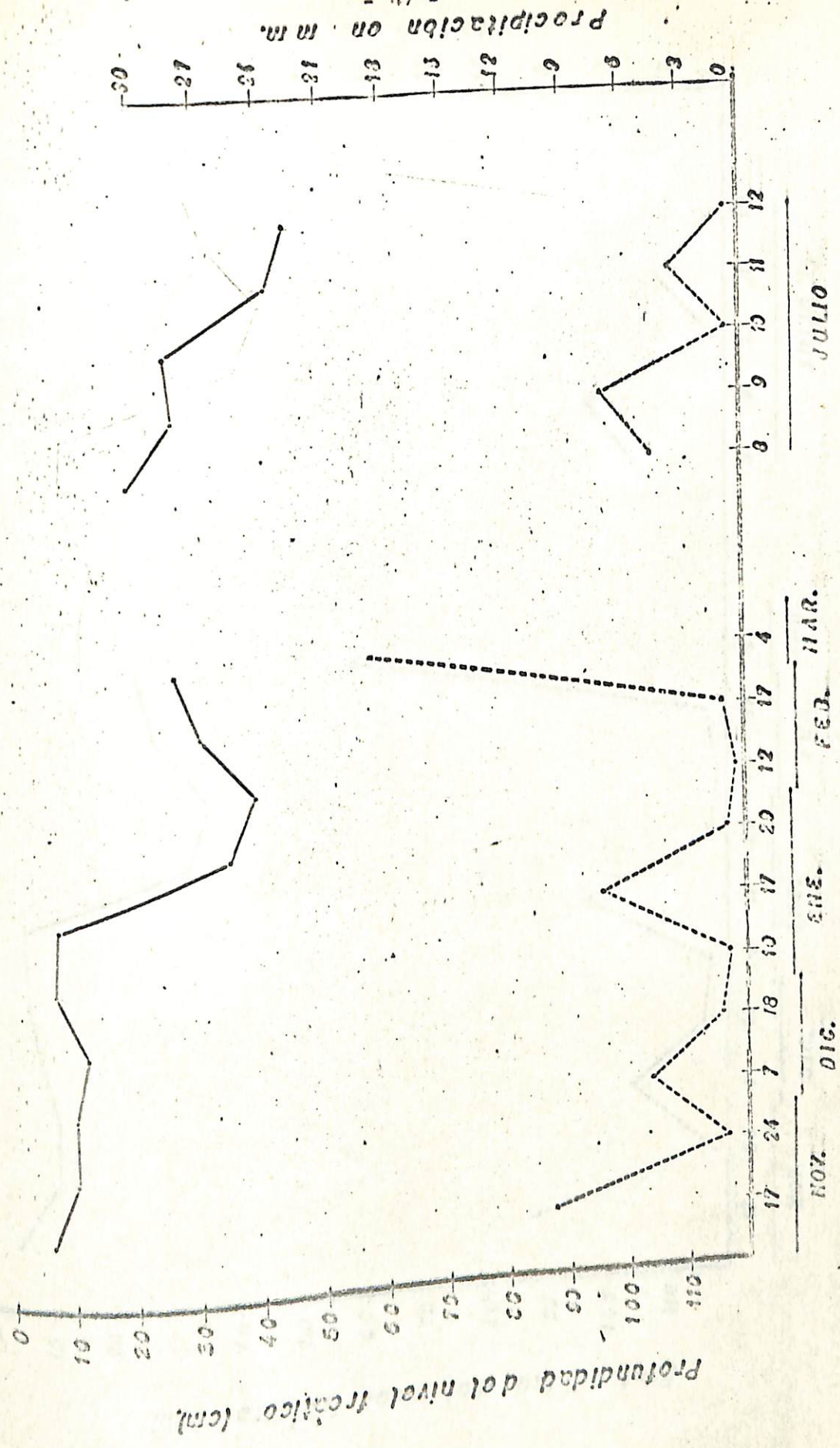


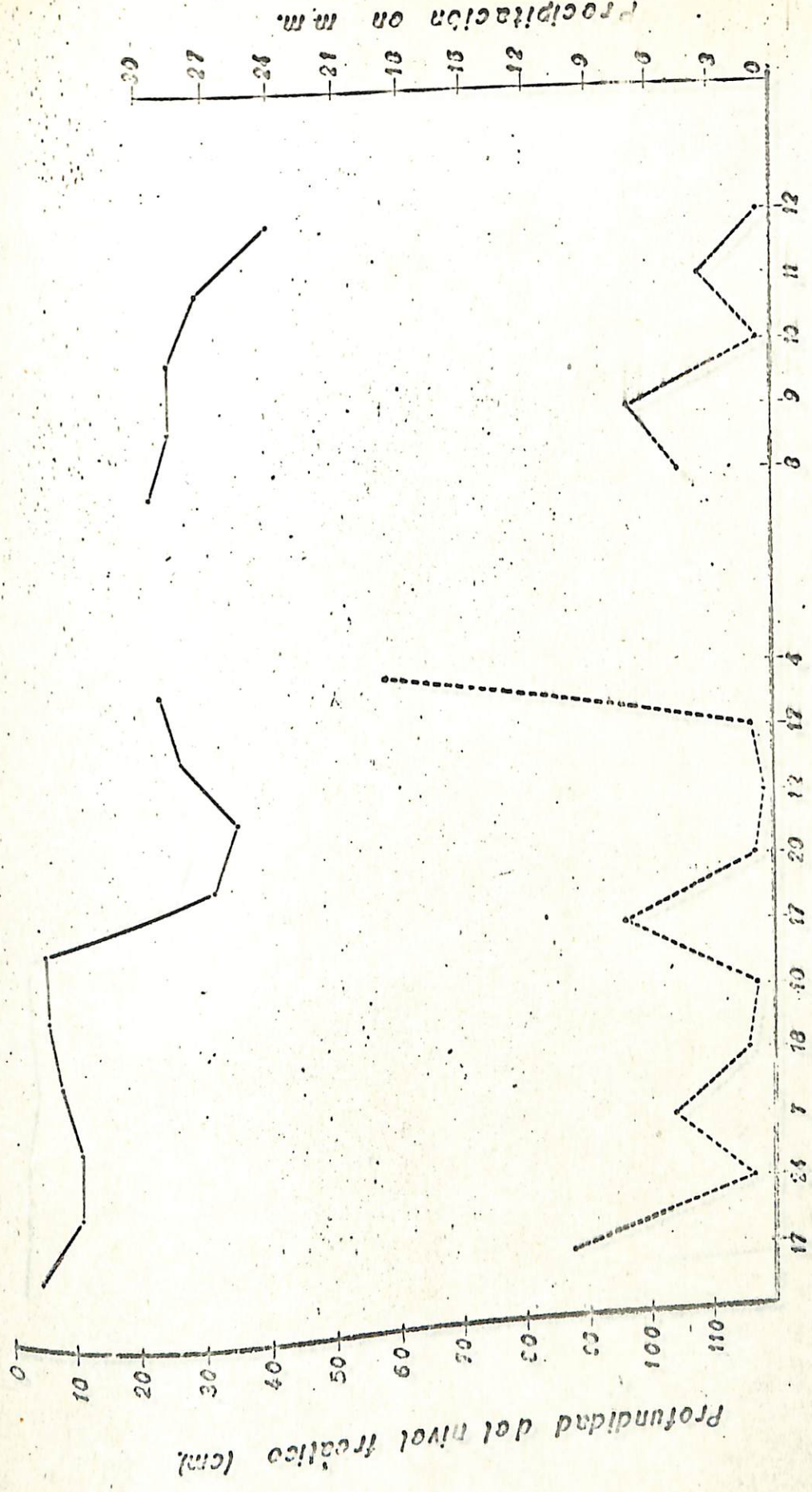
Fig 19.- VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 10

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR



JULIO

FEB. MAR.

ENE.

DIC.

NOV.

Fig 20.—VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 11

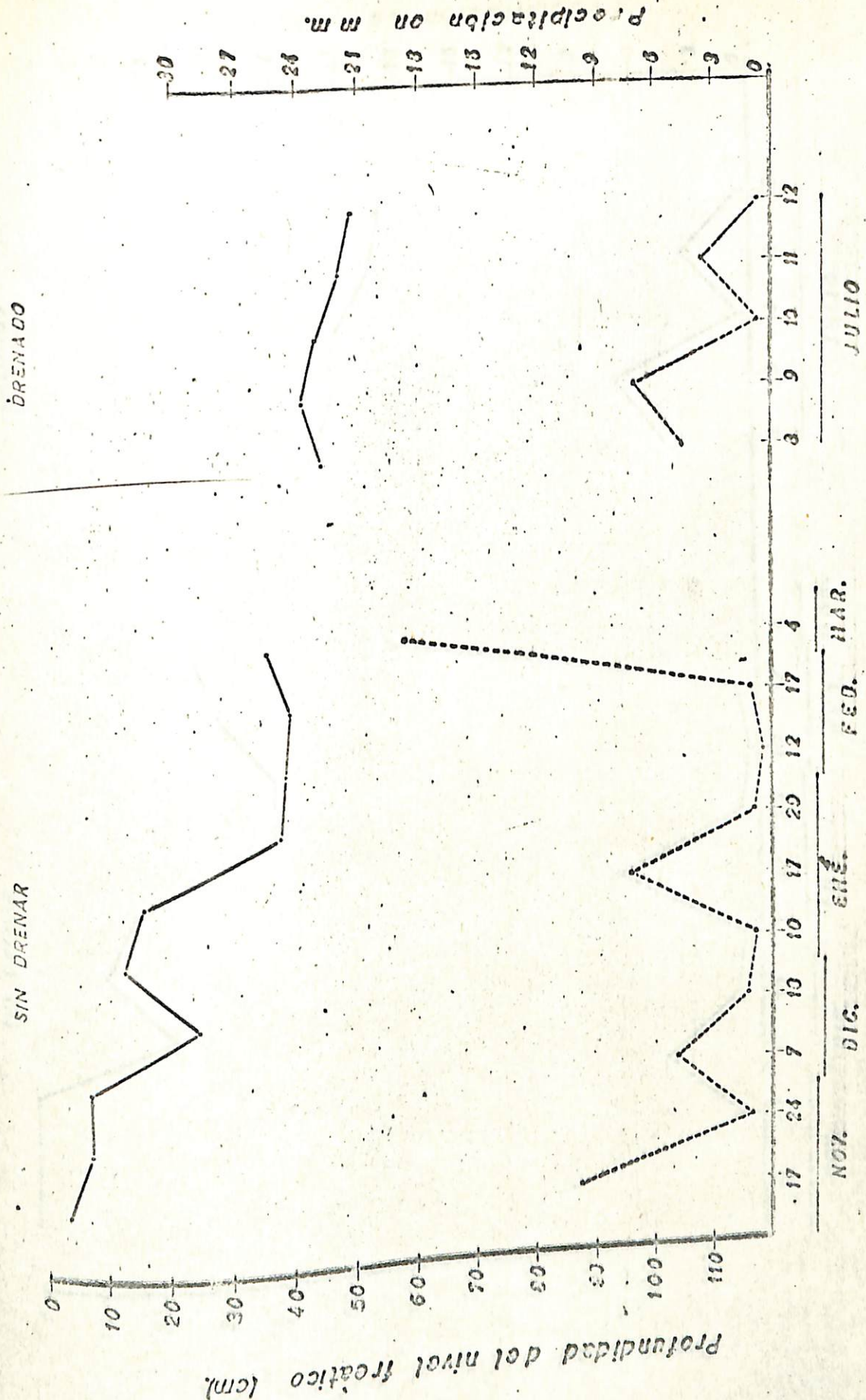


Fig 22 VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo Nº 13

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR

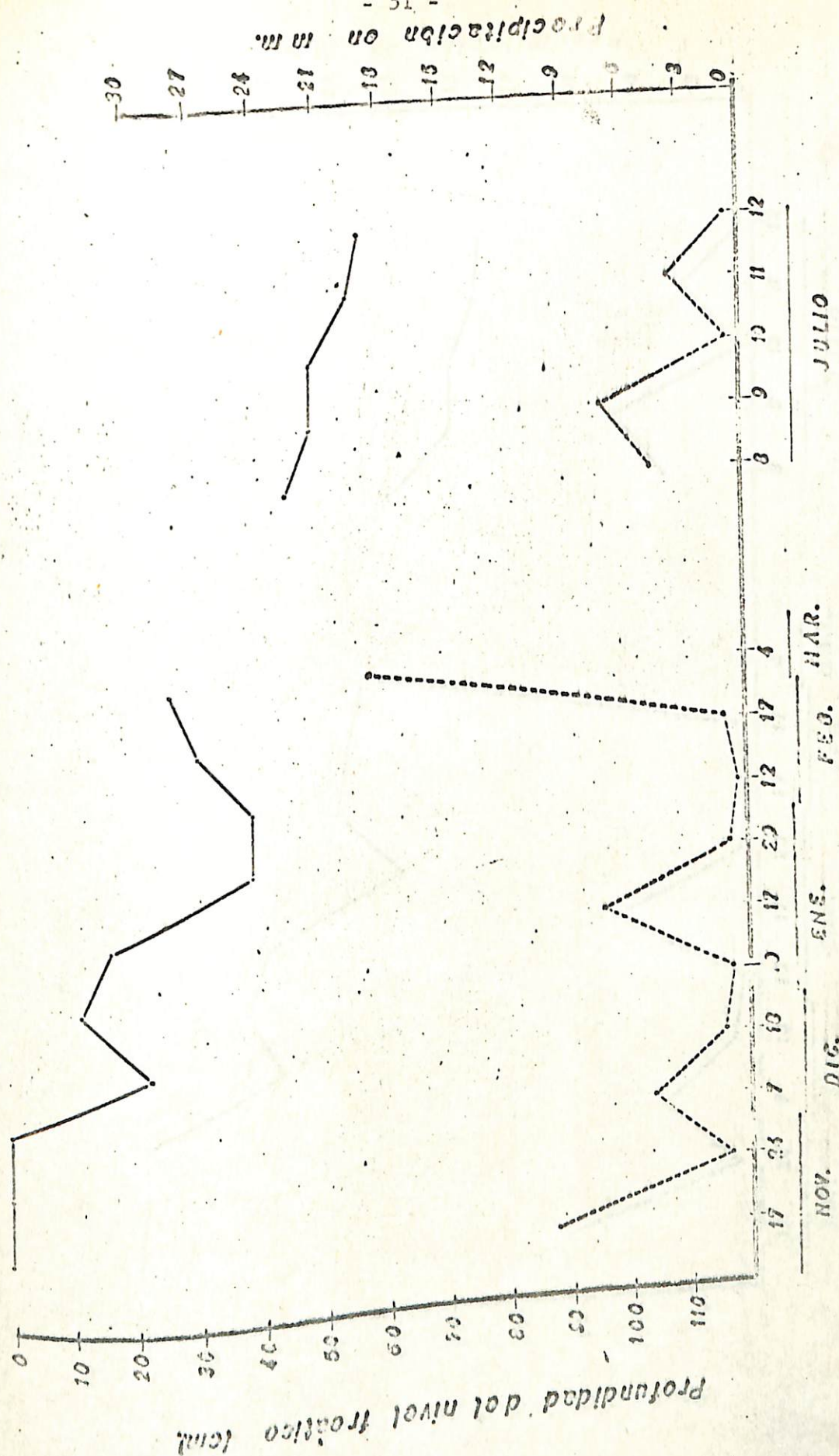


FIG 23.- VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo Nº 14

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR

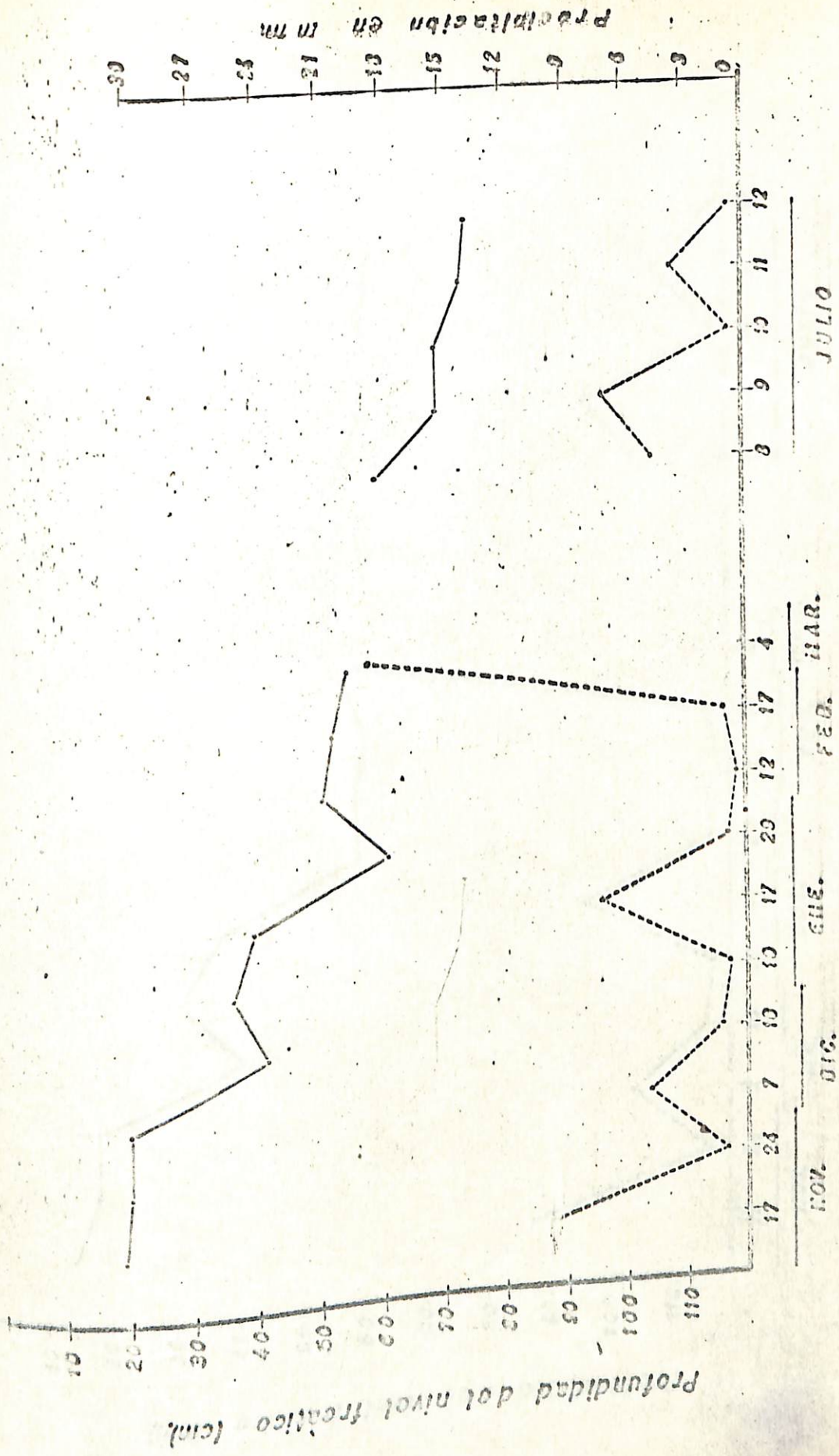


Fig 24. VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR

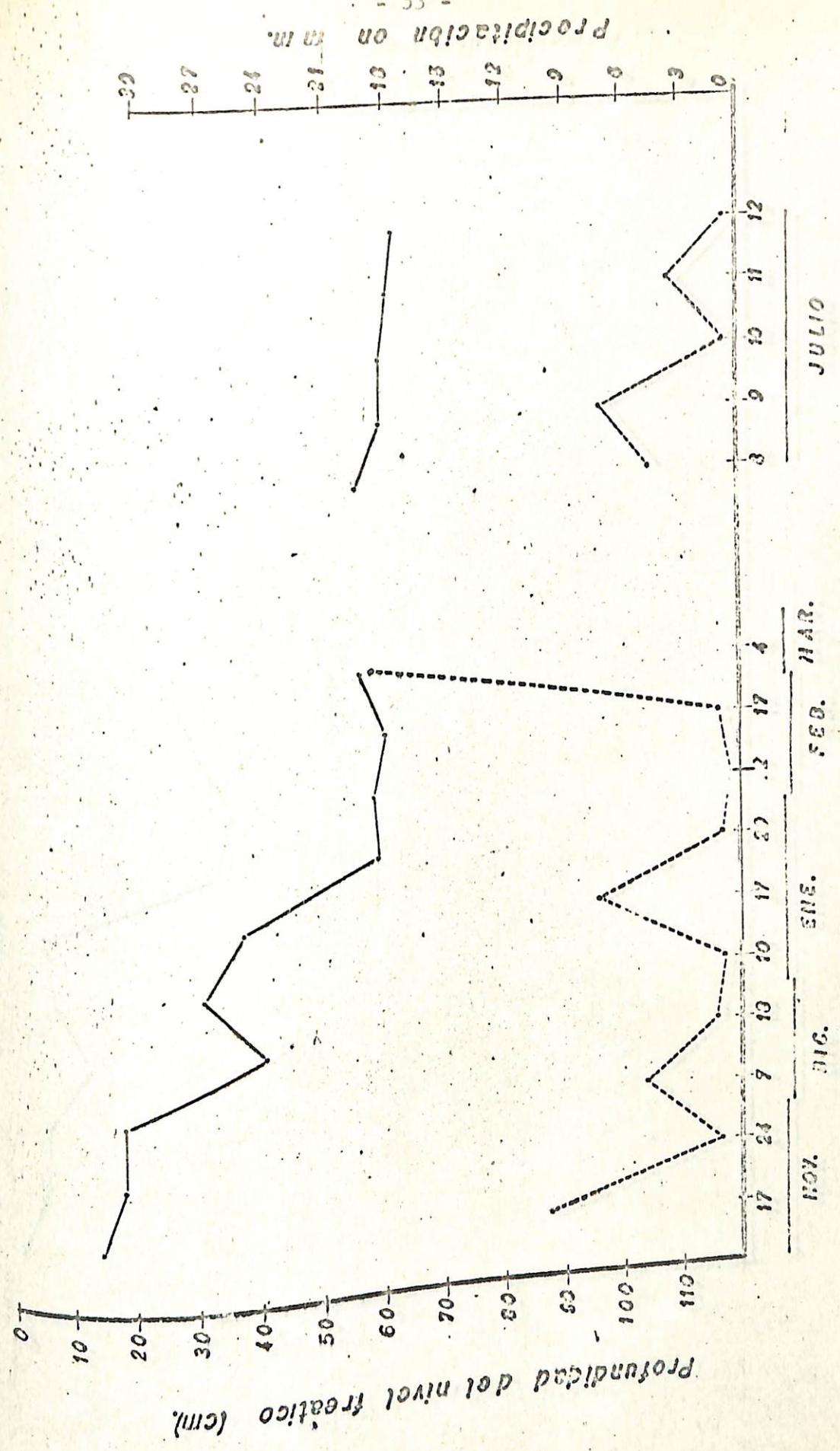


Fig 25.-VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 16

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR

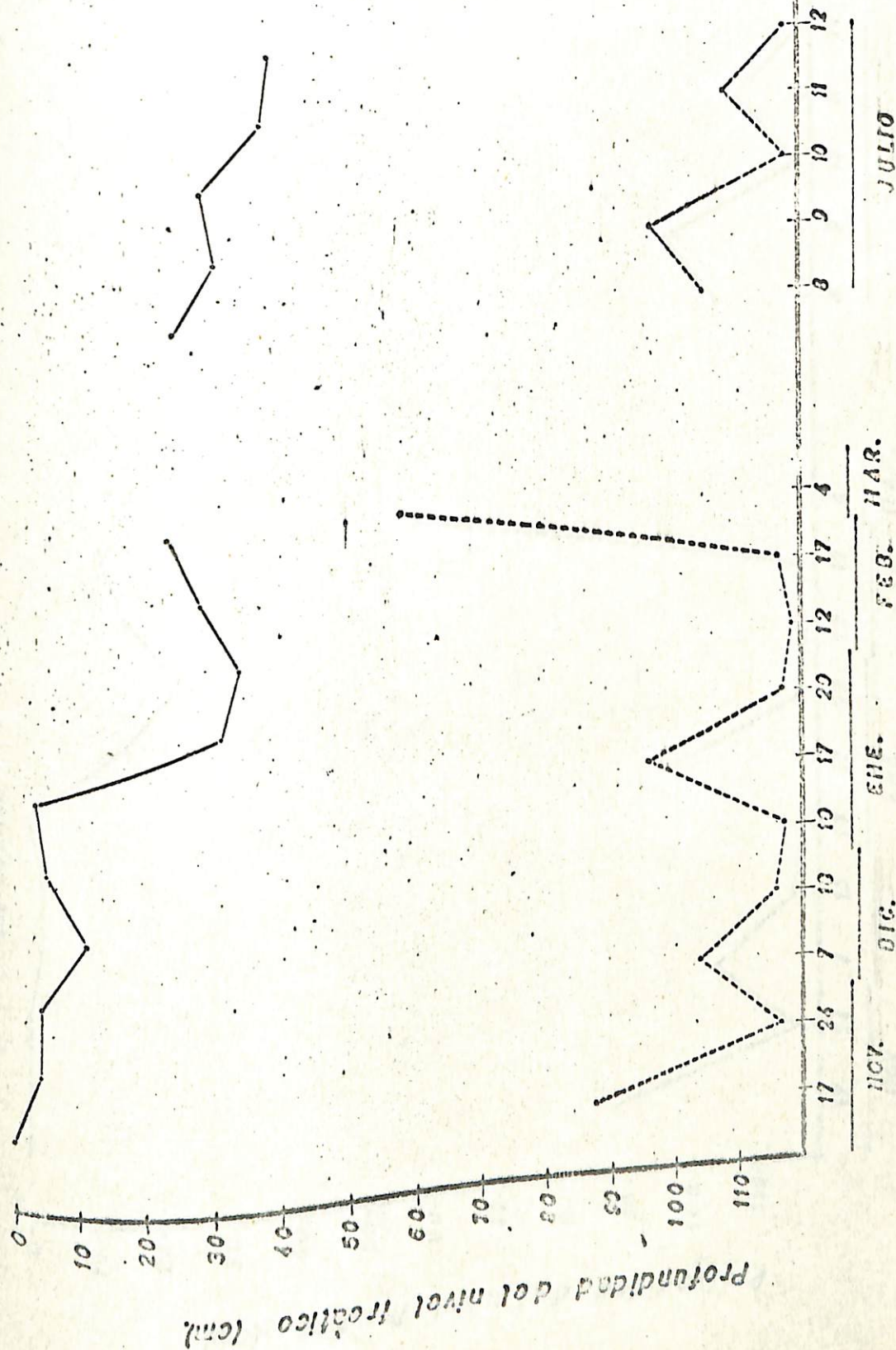


Fig 26. VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 17

PRECIPITACION
NIVEL FREÁTICO

DRENADO

SIN DRENAR

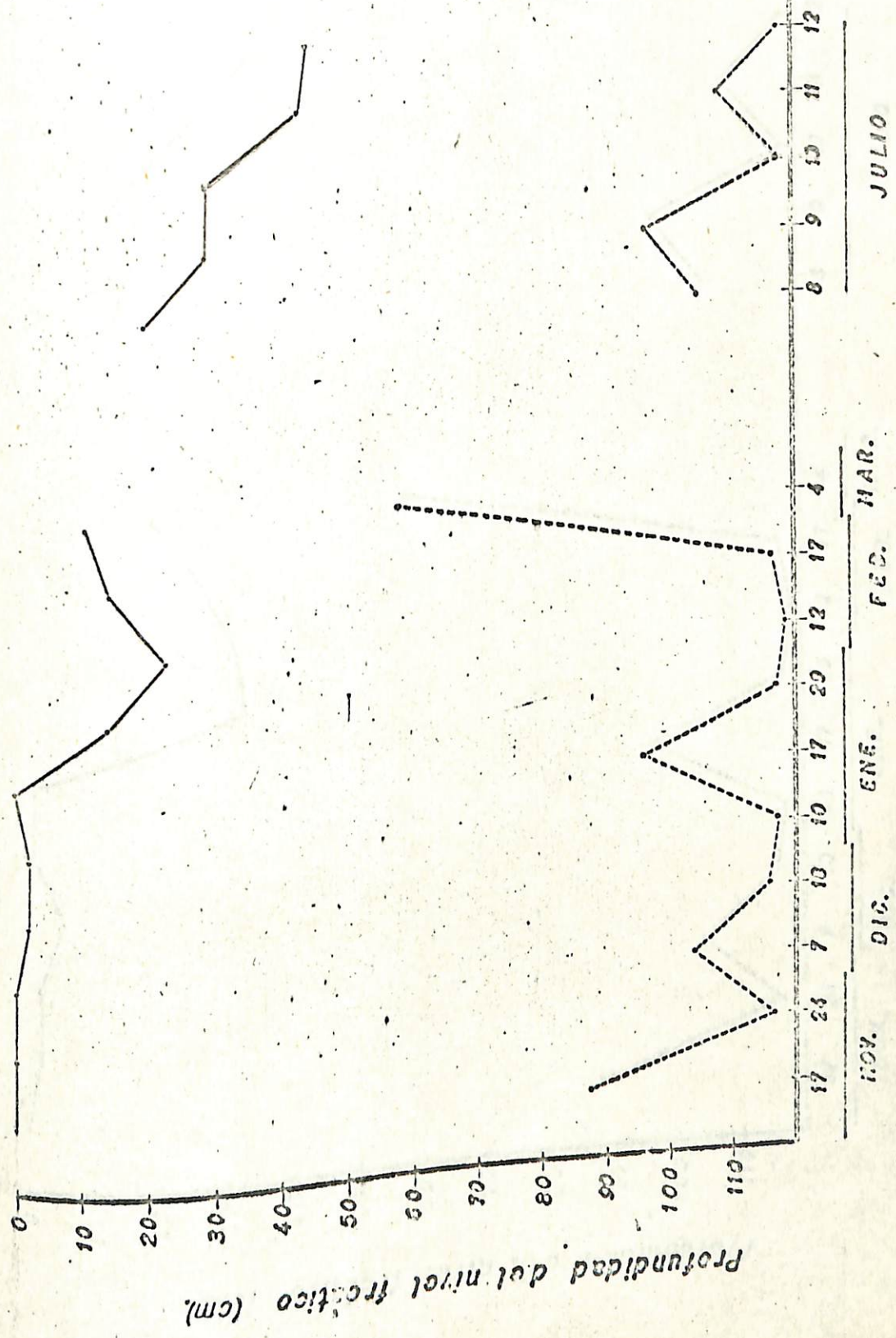


Fig 27.--VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 18

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR

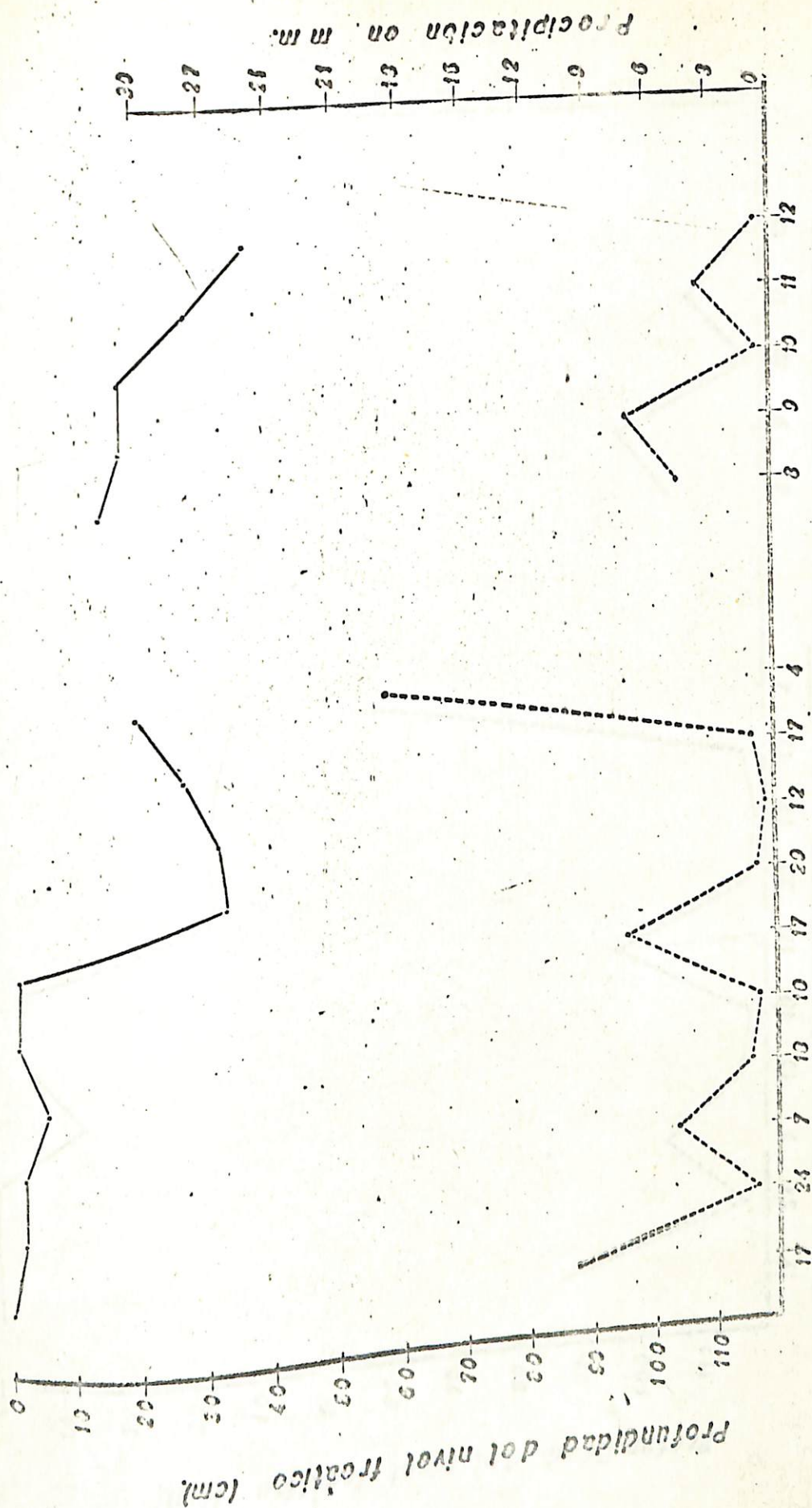


Fig 23. VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo Nº 19.

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR

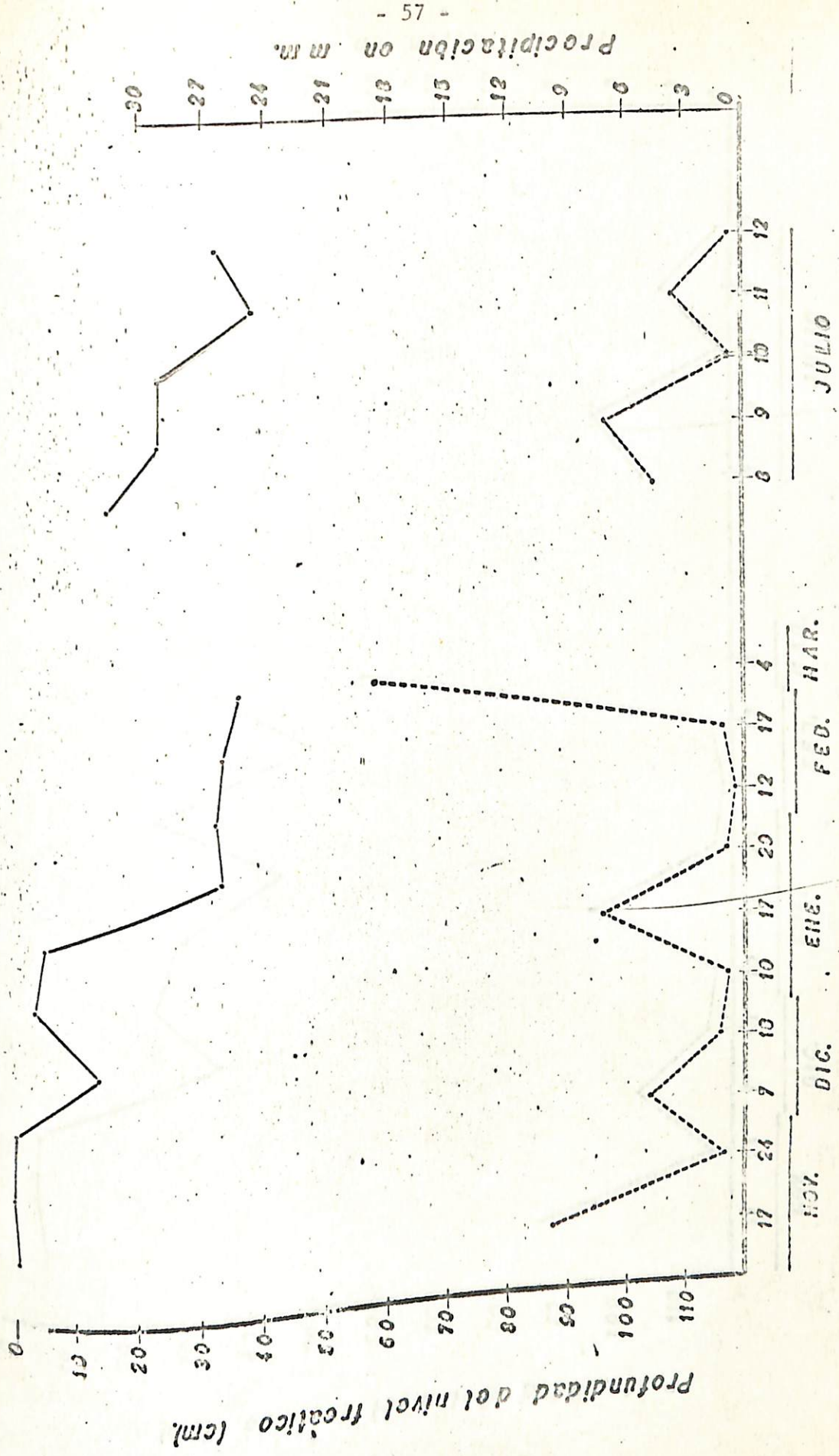


Fig 29. VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 20

SIN DRENAR

DRENADO

Profundidad del nivel freático (cm)

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110

Precipitacion en m.m.

0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30

17 24 7 10 10 17 20 12 17 4
NOV. DIC. ENE. FEB. MAR. JULIO

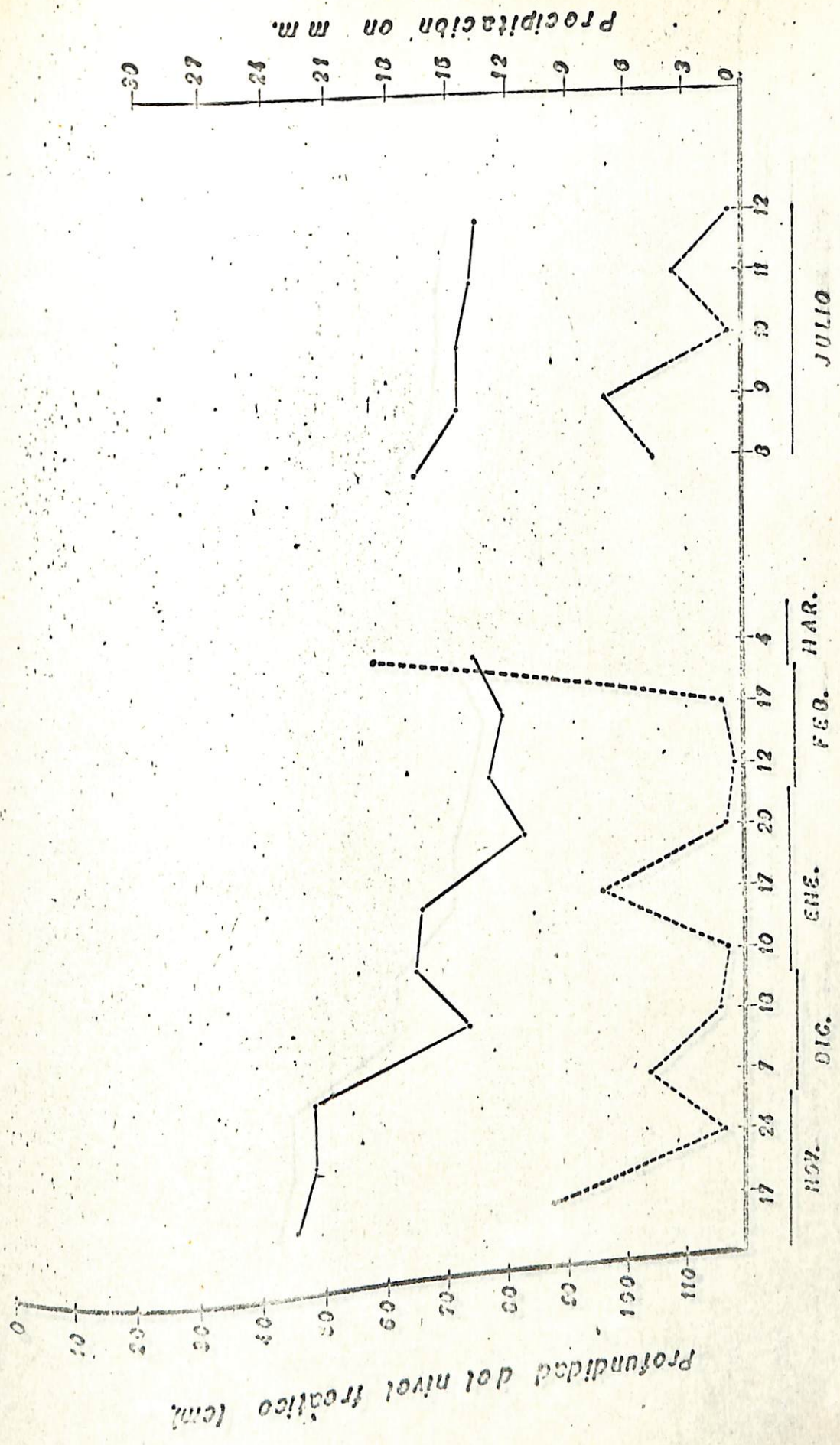
Fig 30. VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo Nº 21

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR



JULIO

HAR.

FEB.

ENE.

DIC.

NOV.

Fig 31. VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 22.

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR

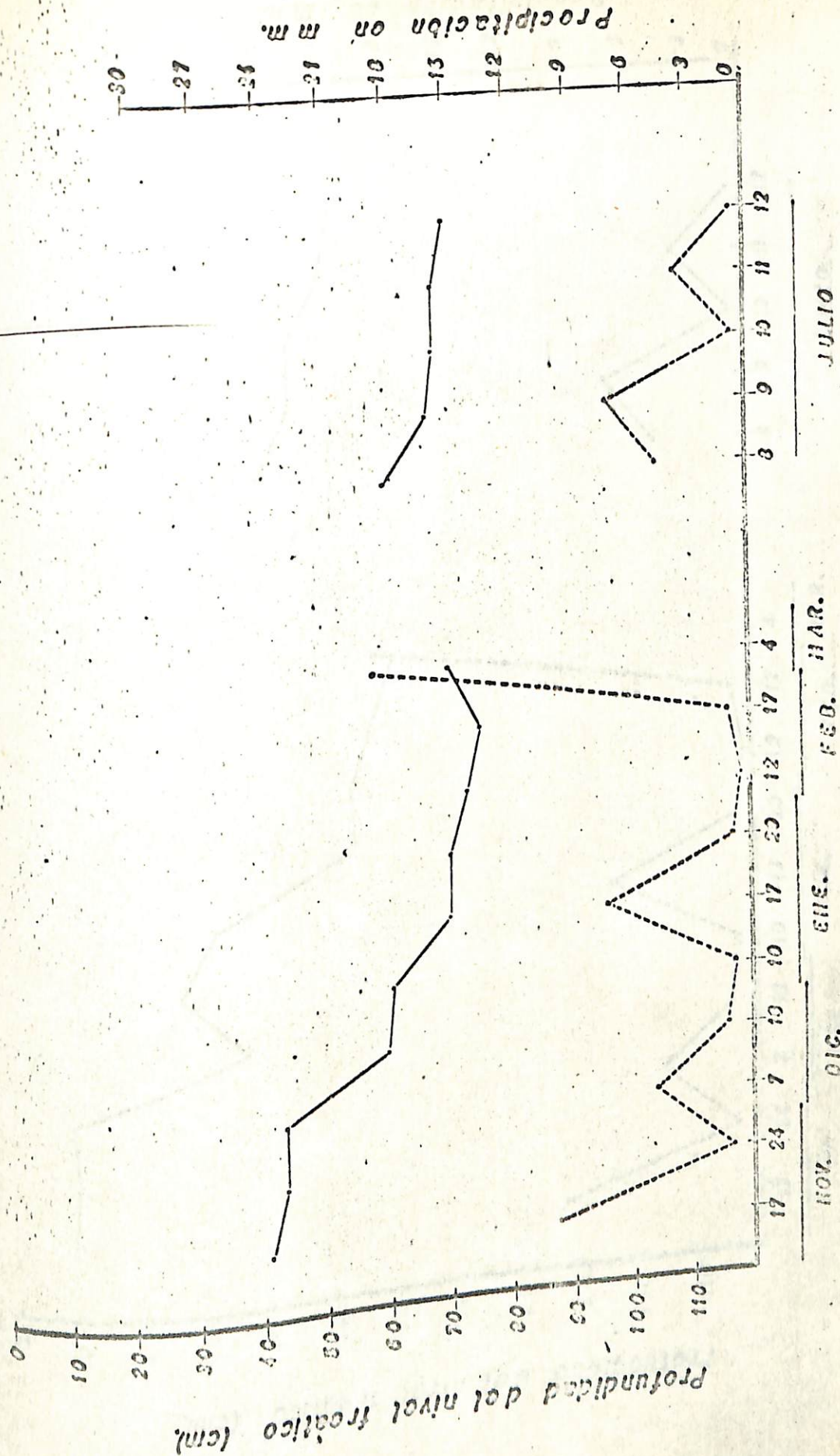


FIG 32. VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 23

DRENADO

SIN DRENAR

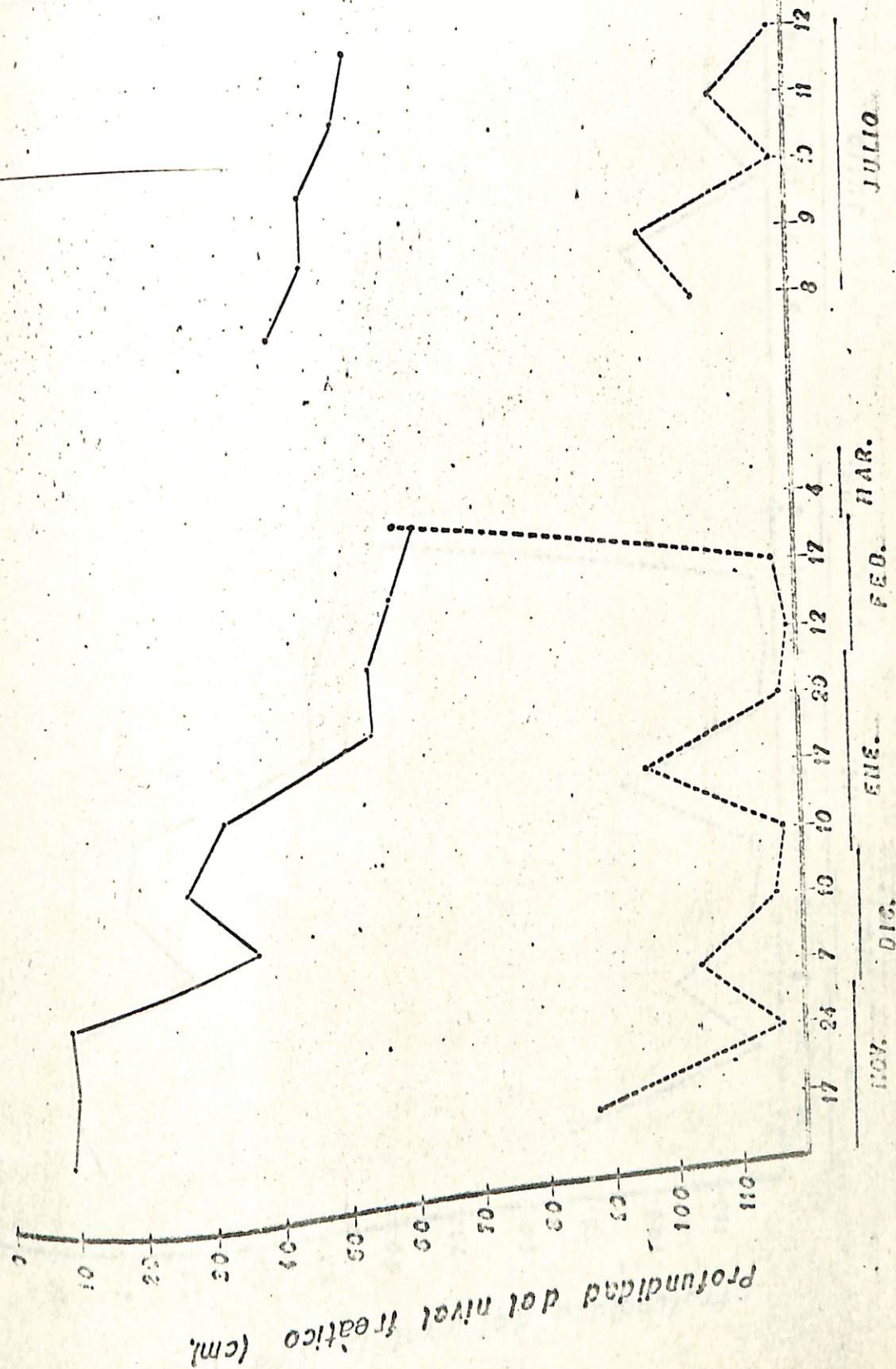


FIG 33.-VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.
POZO Nº 24

DRENADO

SIN DRENAR

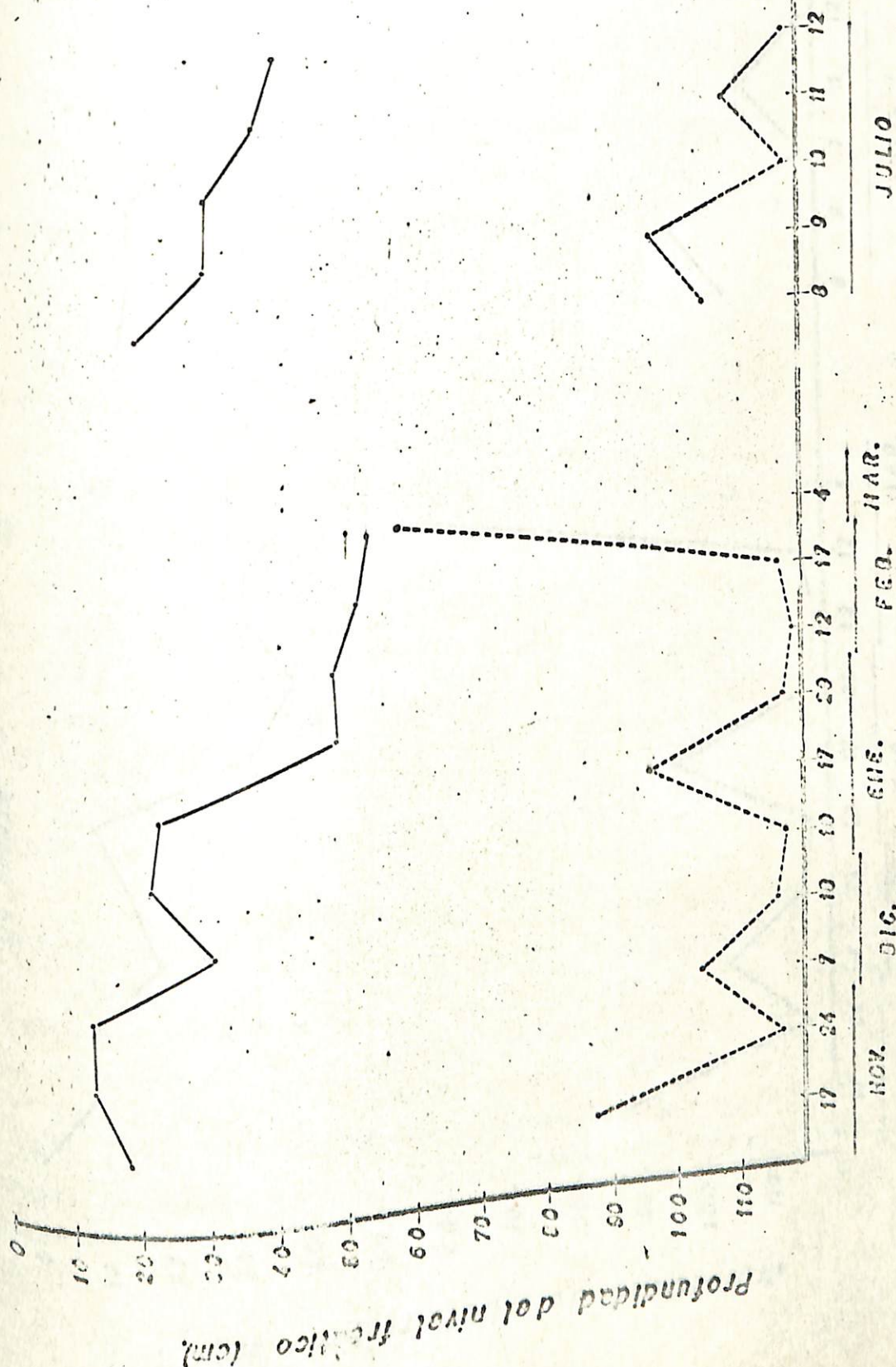


Fig 24. VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Pozo N° 25

PRECIPITACION
NIVEL FREATICO

DRENADO

SIN DRENAR

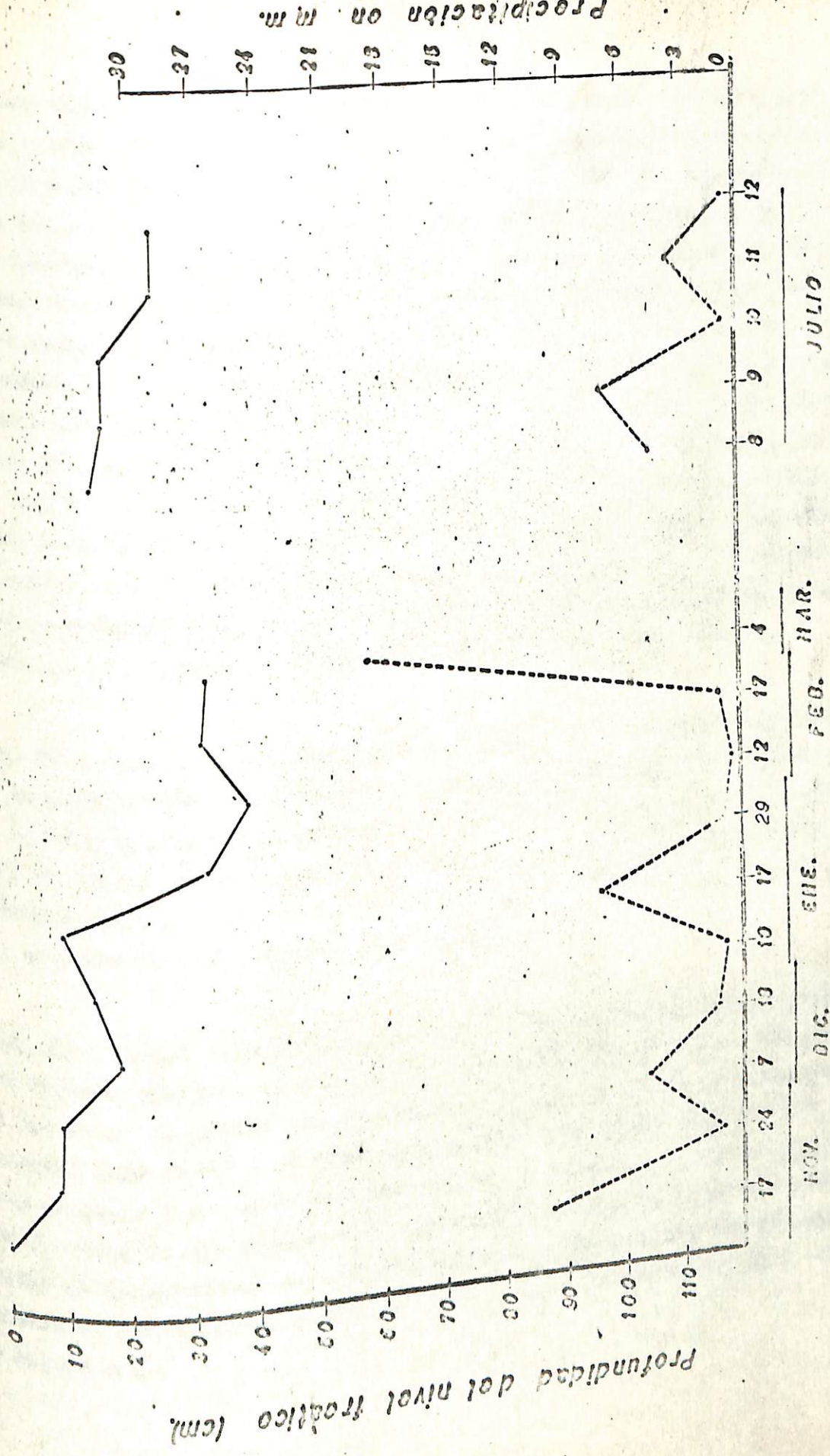


FIG 35.-VARIACION DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO CON RELACION AL TIEMPO.

Los valores de la conductividad hidráulica permiten clasificarla como rápida. Esto concuerda con el otro parámetro físicoedáfico determinado, la densidad aparente, que solo alcanzó a 0,64 g/cc Tabla II, (Apéndice). Debe resaltarse el hecho de que tanto la conductividad hidráulica, como la densidad aparente, a pesar de que el terreno es de poca superficie, varían considerablemente de un sitio a otro. Esto se convierte en un factor negativo para el diseño del avenamiento, pues el espaciamiento depende entre otros de la magnitud de la conductividad hidráulica. Es decir, si se hubiese tenido en cuenta este parámetro con sus valores localizados, habría sido necesario calcular un espaciamiento diferente para cada uno de los 10 sitios de muestreo. Sin embargo, y de acuerdo a la Tabla I (Apéndice), los primeros resultados indican que el espaciamiento calculado era altamente aceptable. Será preciso esperar que ocurra el proceso de asentamiento para verificar si la conductividad hidráulica y su rango de variación sufren modificaciones alterando de esta manera el funcionamiento de la red de drenaje.

Los criterios que se tomaron para el diseño del sistema de drenaje, fueron la conductividad hidráulica, la densidad aparente, la dirección del flujo, los niveles freáticos mínimos en la época de máxima recarga pluvio-métrica, la localización del canal de descarga, la profundidad radical de los cultivos predominantes en la zona, el régimen freático del Valle de Sibundoy, la precipitación pluvial y la evaporación.

Para calcular el espaciamiento de los drenes se determinó en primer lugar el balance hídrico, el cual se basó en los valores de la precipitación en los meses de máxima recarga (Mayo a Agosto de 1974), la evaporación media mensual (año 1974) y el agua aprovechable del suelo (los valores de capacidad de campo y punto de marchitamiento se tomaron de Ospina *et al.*, 1976). Es de advertir que debido a la topografía plana, no se tuvo en cuenta el valor de la escorrentía. La determinación del balance hídrico permitió calcular el coeficiente de drenaje que resultó ser de 0,004 m, y el cual se obtuvo así :

Teniendo en cuenta que la precipitación en la estación La Menta fue en 1974 de 2.214,3 mm y que aproximadamente el 50% de esa lluvia se produjo entre Mayo y Agosto (4 meses), la precipitación máxima por mes fue :

$$2.214,3 \text{ mm} \times 50\% / 4 \text{ meses} = 278 \text{ mm/mes}$$

La evaporación mensual resulta en :

$$971 \text{ mm anuales} / 12 = 81 \text{ mm/mes}$$

El agua aprovechable se obtuvo en milímetros y en base a estos datos :

Humedad gravimétrica en capacidad de campo	= 83,61%
Humedad gravimétrica en punto de marchitamiento	= 56,13%
Humedad gravimétrica en punto de marchitamiento	= 0,40 m
Profundidad radical de los cultivos predominantes	
Densidad aparente	= 0,65 g/cc

$$\text{Agua aprovechable} = (83,61 - 56,13) \times 0,65 \times 0,40 = 71 \text{ mm}$$

El balance hídrico presentó este resultado :

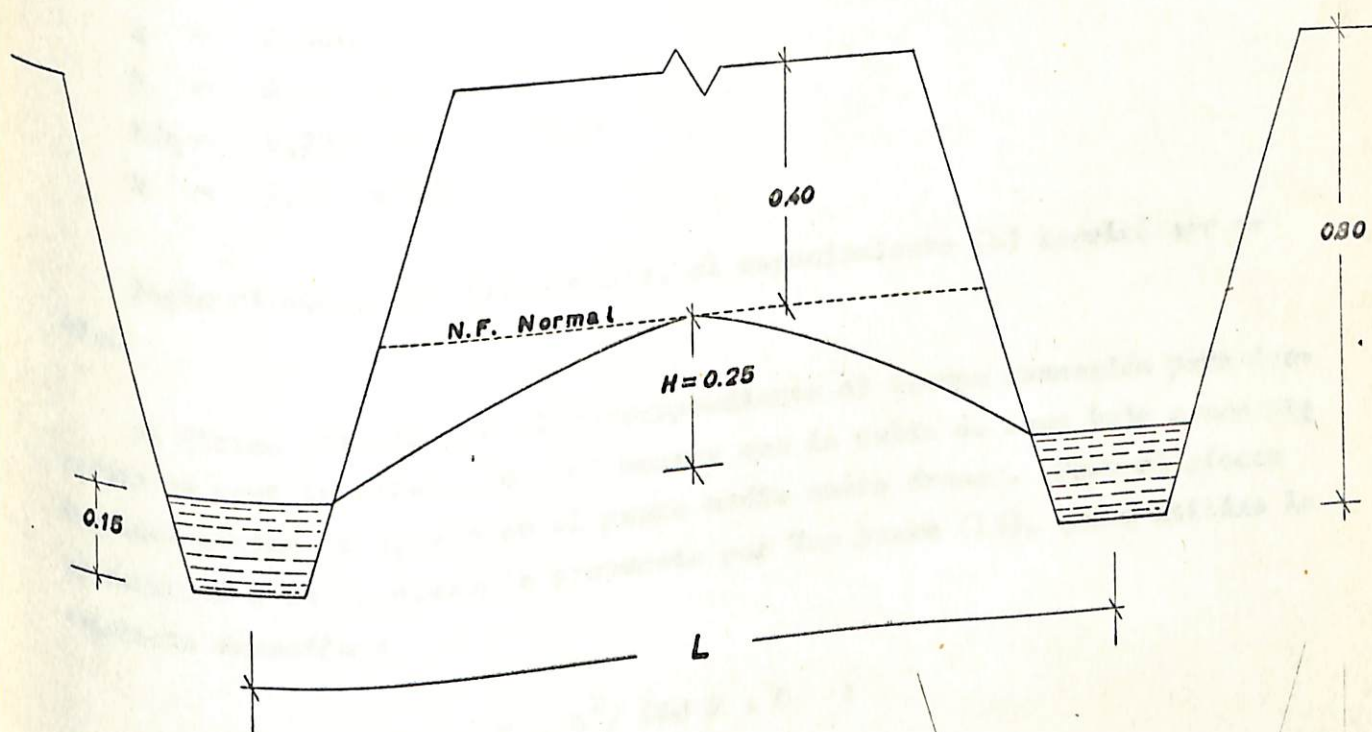
$$278 \text{ mm} - (81 \text{ mm} + 71 \text{ mm}) = 126 \text{ mm de agua excedente}$$

El coeficiente de drenaje (q) se calculó dividiendo el agua de exceso por los 30 días del mes :

$$126 \text{ mm de agua excedente} / 30 \text{ días} = 0,004 \text{ m/día}$$

Como segunda etapa dentro del diseño, se trató lo referente a la profundidad de los drenes. Para este propósito se tuvo en cuenta que la máxima elevación del nivel freático en el punto medio entre drenes debería ser de 0,40 m, que el tirante normal en los drenes sería de 0,15 m y que debido al régimen freático del Valle de Sibundoy, la máxima profundidad de los drenes debería ser de 0,80 m (Figura 36).

ESPACIAMIENTO Y PROFUNDIDAD DE LOS
DRENES



Con los últimos datos fue posible calcular la altura de la curva de saturación (h) en el punto medio entre drenes :

$$h = 0,80 \text{ m} - (0,40 \text{ m} + 0,25 \text{ m}) = 0,25 \text{ m}$$

Para el cálculo del espaciamiento entre drenes, se utilizó el nomograma propuesto por Van Beers (19), para perfiles homogéneos y una profundidad de la capa impermeable mayor a $1/4$ del espaciamiento ($D > L/4$) :

$$q = 0,004 \text{ m/día}$$

$$h = 0,25 \text{ m}$$

$$h/q = 0,25/0,004 = 62,5$$

$$k = 1,27 \text{ m/día}$$

Según el nomograma (Figura 37), el espaciamiento (L) resultó ser de 40 m.

El último cálculo fue el correspondiente al tiempo requerido para descargar el agua en exceso, de tal manera que la tabla de agua baje a una profundidad mínima de 0,40 m en el punto medio entre drenes. Para el efecto se recurrió a la metodología propuesta por Van Beers (18), quien utiliza la siguiente ecuación :

$$J = V \cdot L^2 / 100 K \cdot D ;$$

donde :

$$J = \text{tiempo de descarga en días}$$

$$V = \text{porosidad drenable} = \sqrt{K}$$

$$L = \text{espaciamiento entre drenes en metros}$$

$$K = \text{conductividad hidráulica en metros/día}$$

$$D = \text{profundidad de la capa impermeable} = 10 \text{ m (supuesto);}$$

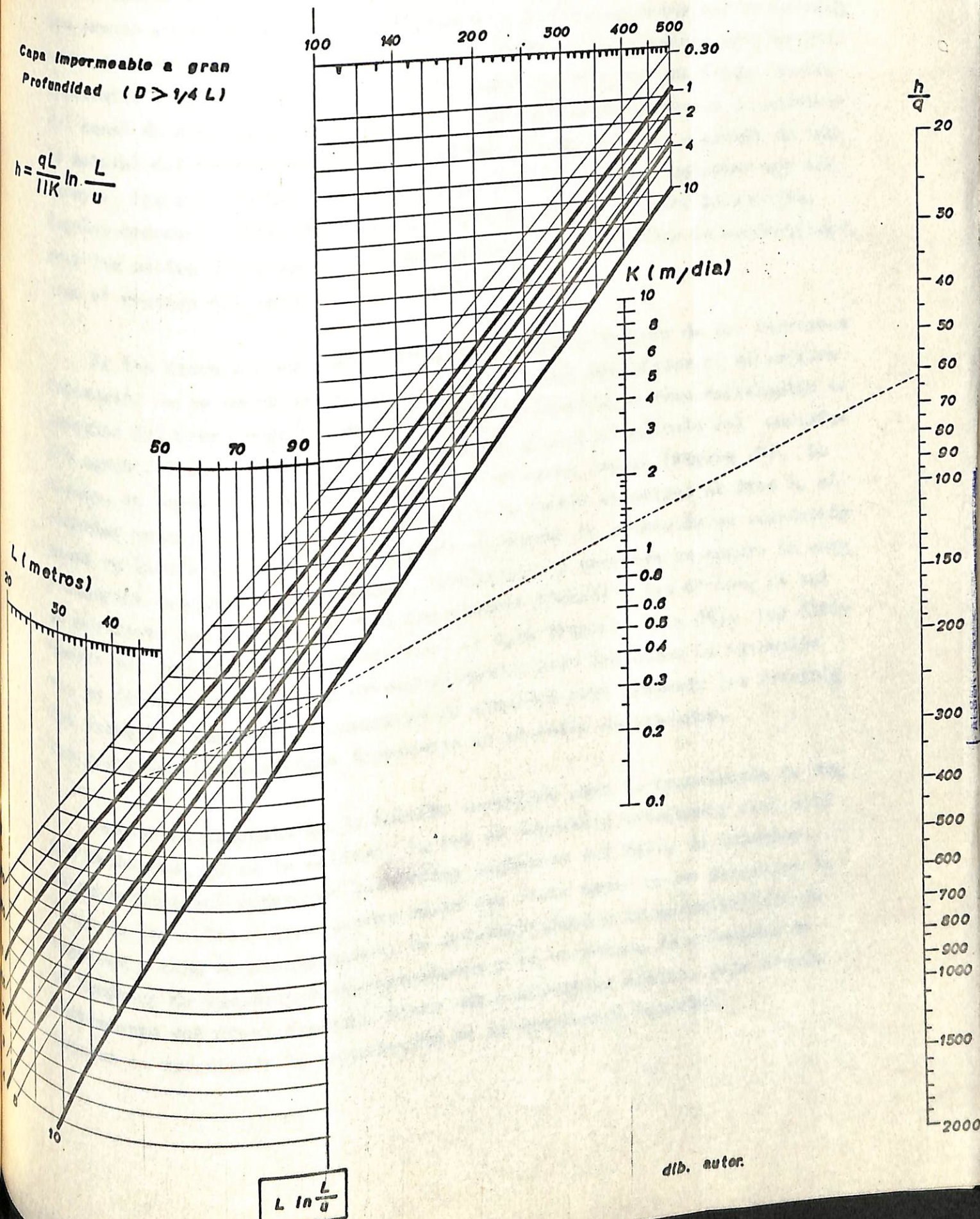
$$J = 1,27 \times 1.600 / 100 \times 1,27 \times 10 = 1,5 \text{ días}$$

NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DEL ESPACIAMIENTO

International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, Holanda, 1965.

Capa impermeable a gran
Profundidad ($D > 1/4 L$)

$$h = \frac{qL}{11K} \ln \frac{L}{u}$$



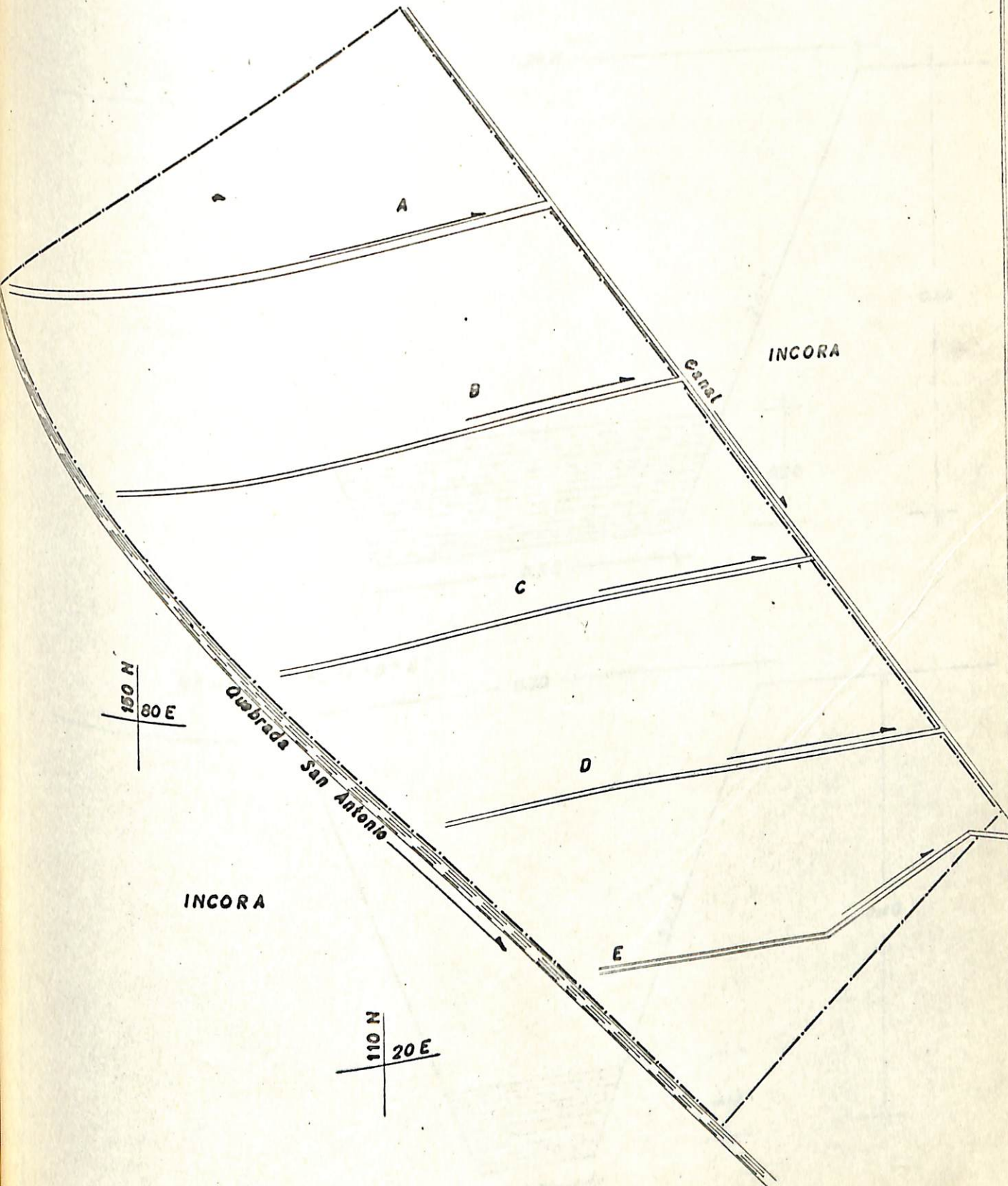
dlb. autor.

Obtenido el espaciamiento de 40 m, se procedió a hacer el trazado de los drenes en el lote. Aunque teóricamente los drenes deben ser aproximadamente perpendiculares a la dirección del flujo, en el presente caso no pudo realizarse a dicha manera, dado que lo impide el sentido del flujo dentro del canal de descarga. Es decir, los drenes irían en contra de la pendiente natural del terreno, provocando así un refluo del agua a través de los drenes. Por otra parte, los drenes descargan en el canal colector con los ángulos cercanos a los 35° , con el objeto de evitar no tanto la erosión, pues los suelos de turba se caracterizan por su bajo índice de erodabilidad, sino el regreso del agua por los drenes (Figura 38).

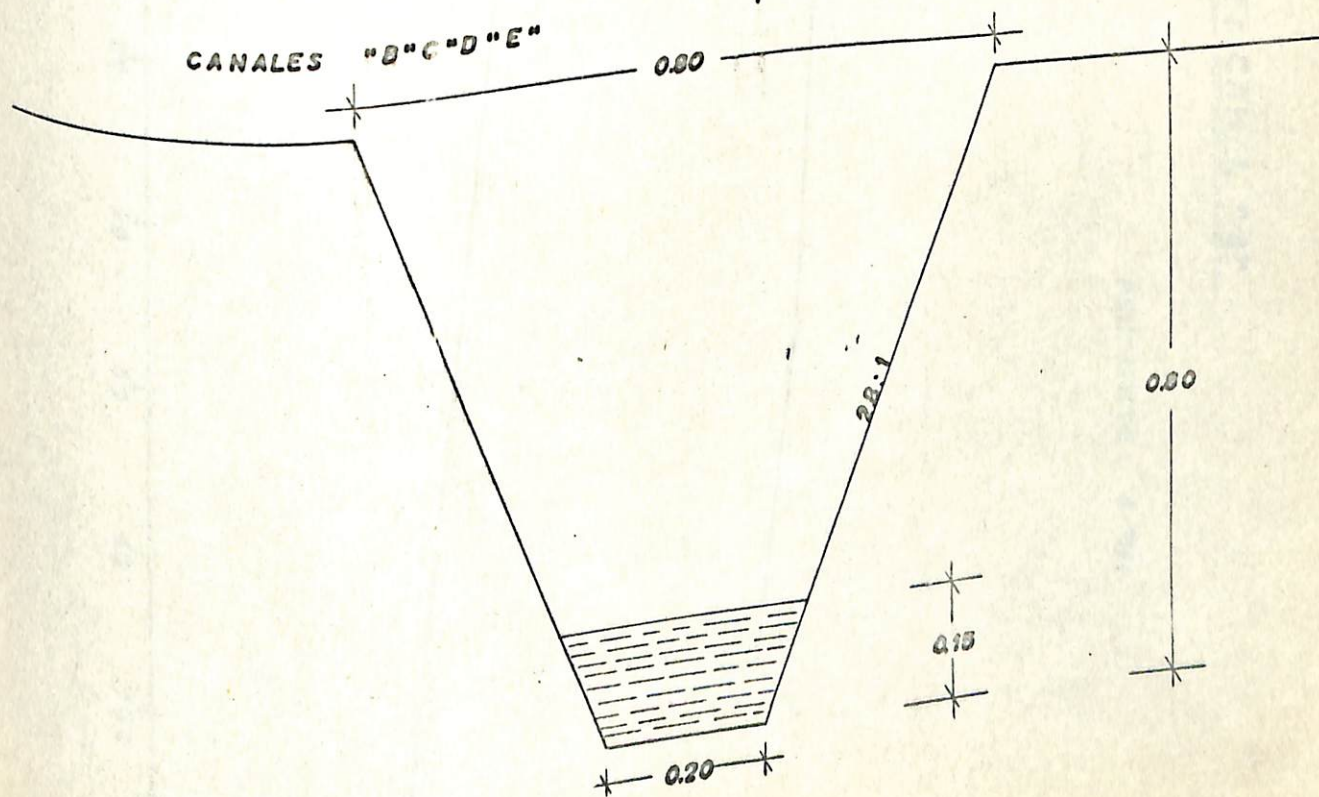
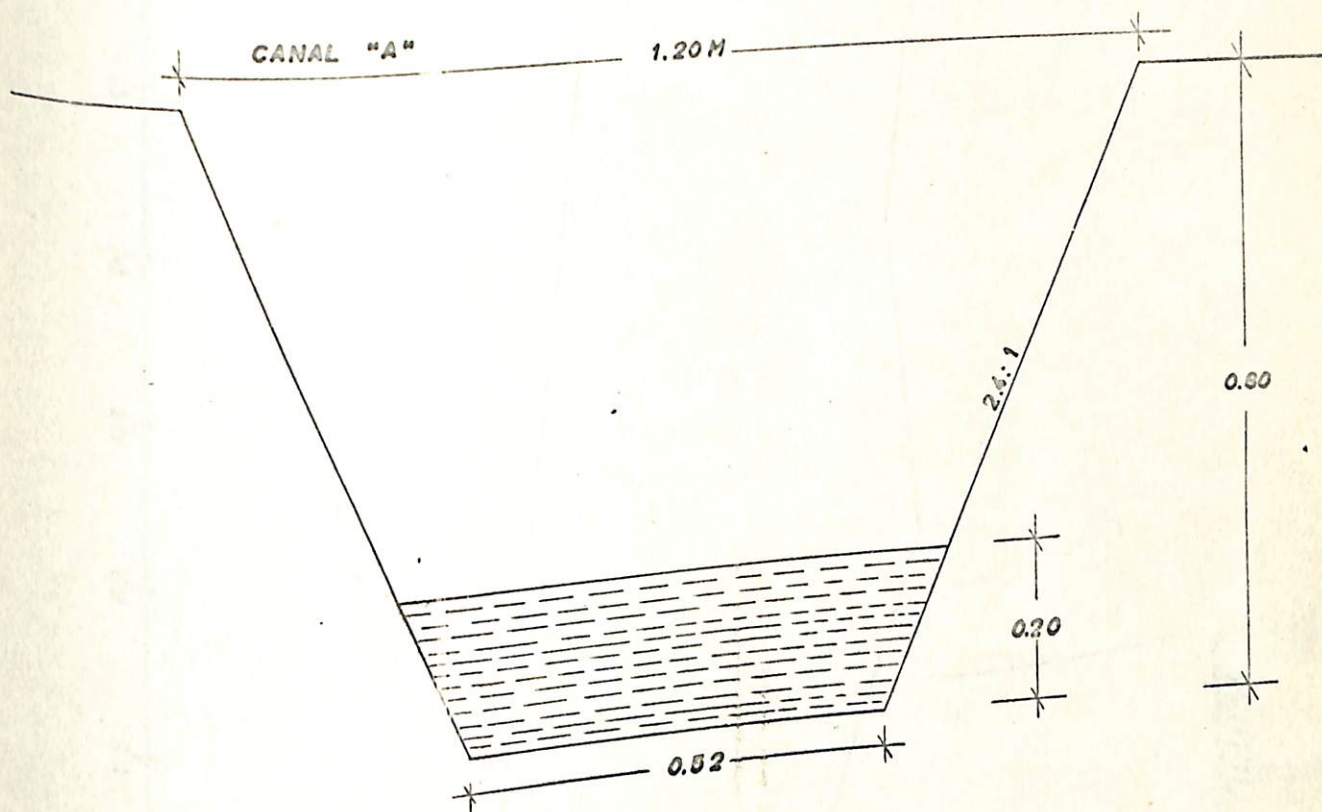
De los cinco drenes construidos, el llamado A difiere de los restantes únicamente en su mayor capacidad, ya que al estar localizado en el extremo superior del terreno debe cumplir también la función de dren interceptor de las aguas del área adyacente. Sin embargo, y para el cálculo del espaciamiento, se emplearon las dimensiones de los otros drenes (Figura 39). Lo anterior quiere decir que al haberle dado la misma capacidad al dren A, el mismo se habría colmatado, si se tiene en cuenta la situación de inundación permanente que impera en la zona. Igualmente, y teniendo en cuenta la escasa pendiente del terreno ($0,2\%$), fue preciso dársela a los drenes, de tal manera que aquella alcanzara en total al $0,4\%$ (Figuras 40 a 44). Por último, se dieron taludes a los drenes solamente para facilitar la ejecución del trabajo y aumentar la capacidad de aquellos para prevenir las irregulares recargas pluviométricas imperantes en el Valle de Sibundoy.

Aunque se disponía de la tubería necesaria para la instalación de drenes cubiertos, no se la utilizó, ya que se desconoce totalmente cual será el comportamiento futuro de los suelos orgánicos del Valle de Sibundoy, luego de avenarlos. Esto quiere decir que hasta tanto no se determine la magnitud y tasa de asentamiento, la reversibilidad o irreversibilidad en el fenómeno de humedecimiento-secamiento y se verifique la velocidad de abatimiento del nivel freático hasta una profundidad mínima, bajo ningún aspecto se recomienda la instalación de la mencionada tubería.

PLANO DE CANALES	
Levanto: Victor Mauricio González.	
Escala: 1:1000	Fecha: V-20-75

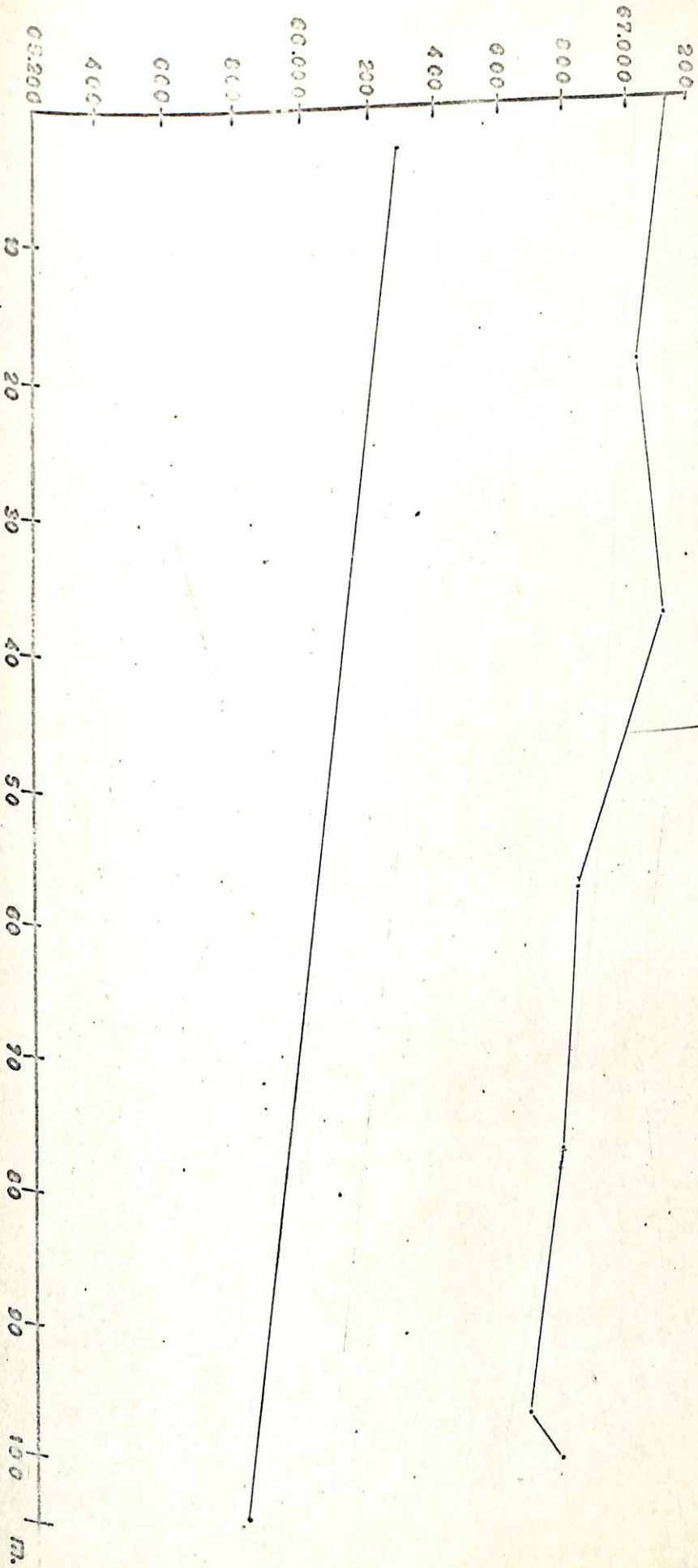


SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS DRENES



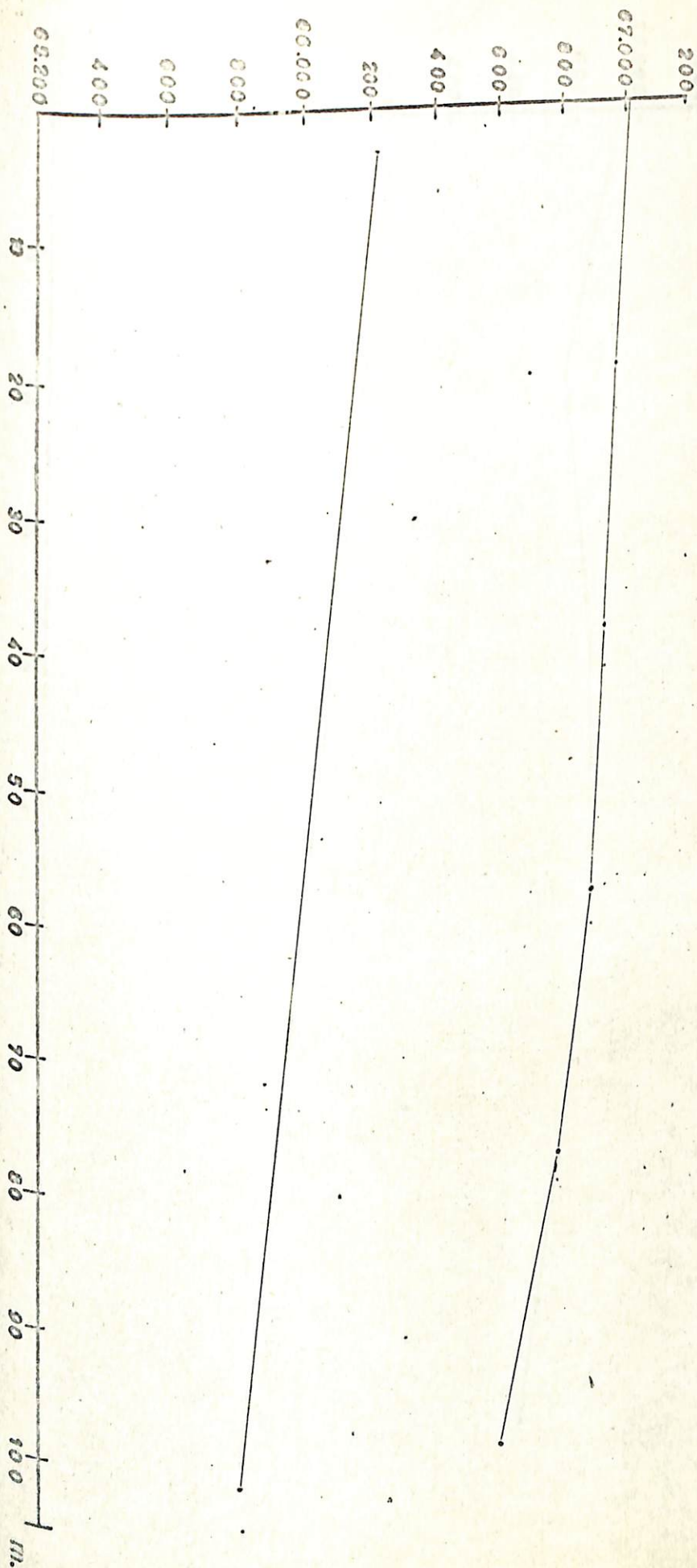
PERFIL DEL CANAL "A"

PENDIENTE: 4 ‰



PERFIL DEL CANAL "B"

PENDIENTE: 4 ‰

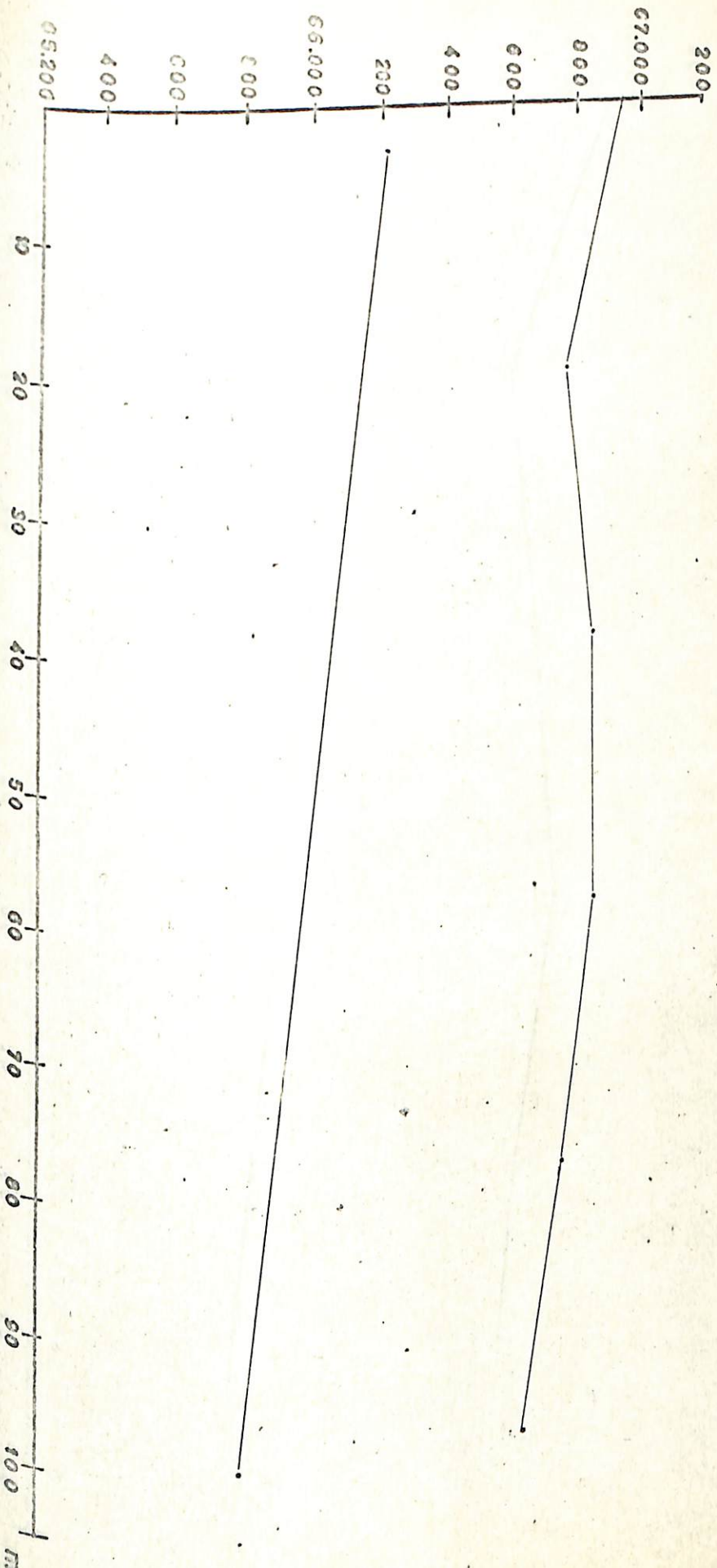


ESCALA HORIZONTAL: 1:500

ESCALA VERTICAL: 1:20

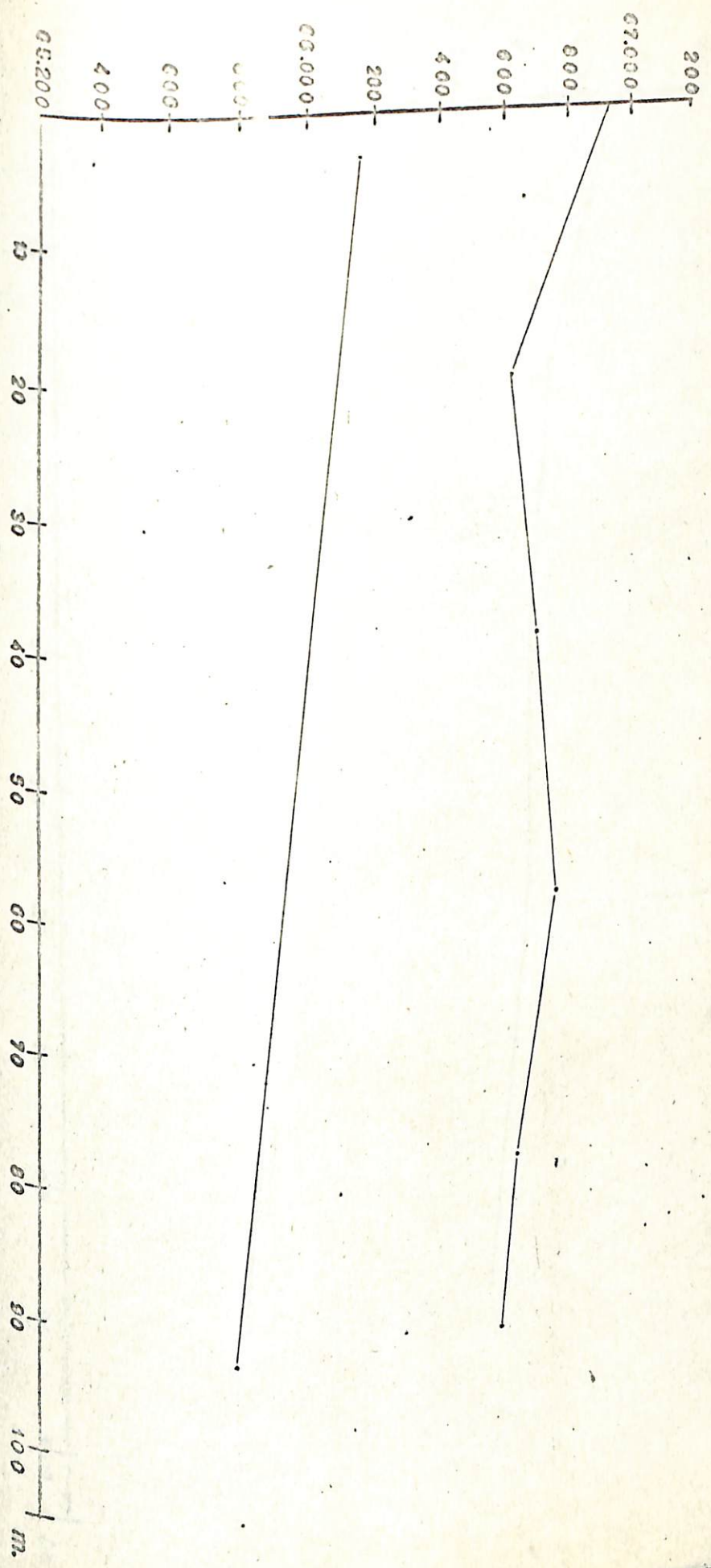
PERFIL DEL CANAL "C"

PENDIENTE: 4 ‰



PERFIL DEL CANAL "D"

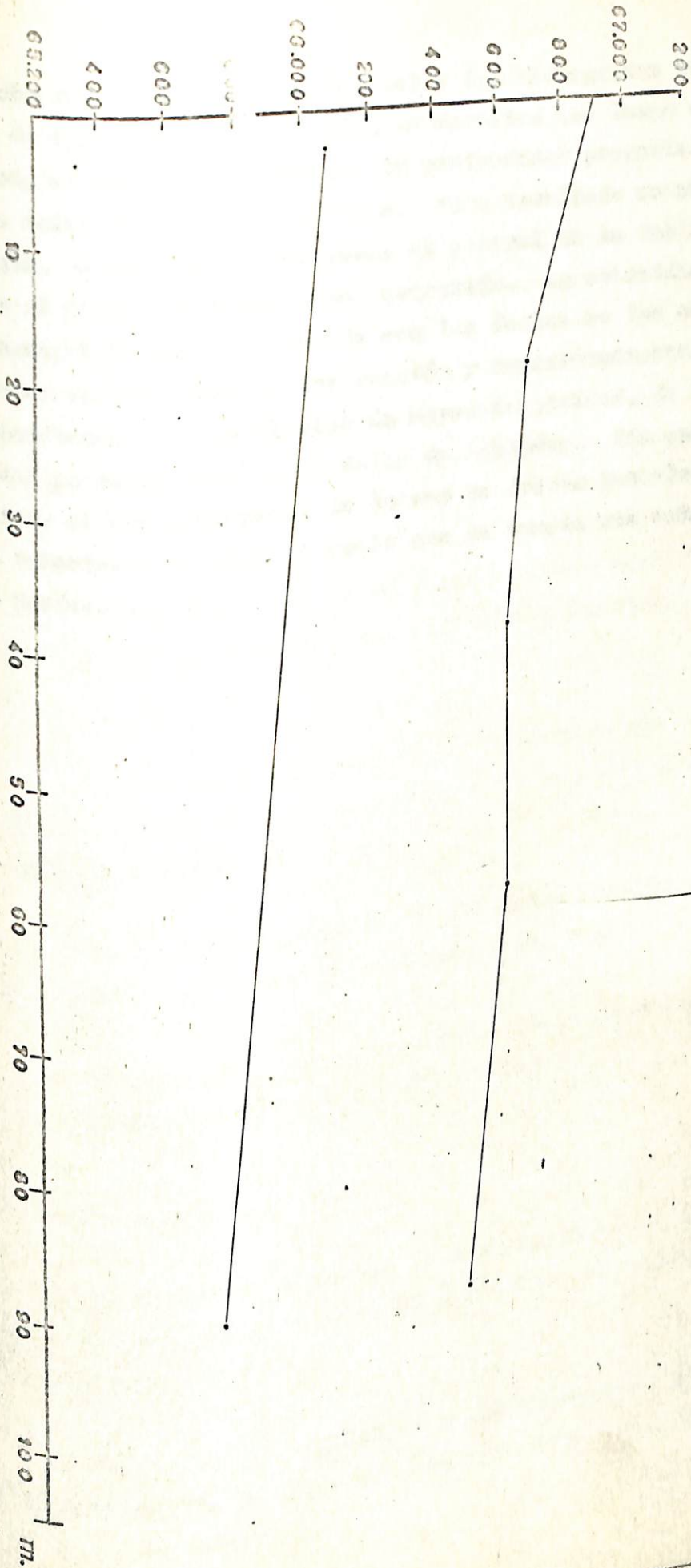
PENDIENTE: 4 ‰



ESCALA HORIZONTAL: 1:500
ESCALA VERTICAL: 1:50

PERFIL DEL CANAL "E"

PENDIENTE: 4 ‰



ESCALA HORIZONTAL: 1:500

ESCALA VERTICAL: 1:50

Al observar la Tabla 1 (Apéndice) y los hidrogramas de fluctuación de la table de agua (Figuras 10 a 35), se verifica que luego de entrar en funcionamiento al sistema de drenaje, la profundidad promedio de los niveles freáticos críticos alcanzó a 0,336 m. Este resultado comprueba la eficacia del sistema, no solo en lo referente al control de la table de agua, sino en cuanto al tiempo de abatimiento requerido. La veracidad de esta afirmación es sustentada por el hecho de que las fechas en las cuales se tomaron las lecturas en los pozos de observación y correspondientes a la etapa final, coincidieron con las lluvias de mayor intensidad, de lo que ha transcurrido del presente año, en el Valle de Sibundoy. Sin embargo, es necesario analizar el comportamiento de la red de drenes instalada durante un período no inferior a un año; es decir que se cumpla una estación de verano y una de invierno.

1. Se verificó que el nivel freático crítico de la zona de drenaje construida, es de 0,336 m.

2. La red de drenes instalada en la zona de drenaje, es de tipo superficial y su nivel freático crítico es de 0,336 m, con lo cual se cumplió en la etapa final de un promedio de 0,336 m.

3. El tiempo de abatimiento del nivel freático superficial hasta el sistema construido, es de 3 días.

4. La mayor tasa de abatimiento del nivel freático superficial hasta el sistema construido, es de 0,336 m.

5. La mayor tasa de abatimiento del nivel freático superficial hasta el sistema construido, es de 0,336 m.

6. La mayor tasa de abatimiento del nivel freático superficial hasta el sistema construido, es de 0,336 m.

7. La mayor tasa de abatimiento del nivel freático superficial hasta el sistema construido, es de 0,336 m.

8. La mayor tasa de abatimiento del nivel freático superficial hasta el sistema construido, es de 0,336 m.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Cuando predomina el nivel freático superficial, caso presente, el plano de líneas isóbatas no representa mayor ayuda para el diseño del sistema de drenajes.
2. No se encontró una relación definida, tanto en condiciones iniciales como finales, entre la fluctuación del nivel freático y la precipitación pluvial.
3. El espaciamiento de 40 m entre drenes y profundidad máxima de 1,00 m, produjeron un funcionamiento correcto del sistema de avenamiento construido.
4. La red de drenes produjo un incremento en la profundidad del nivel freático crítico de 0,24 m, con lo cual éste llegó en la etapa final a un promedio de 0,336 m.
5. El tiempo de abatimiento del nivel freático superficial hasta el mínimo considerado, se redujo a un máximo de 3 días.
6. La mayor tasa de asentamiento tiene ocurrencia entre la plantilla de los drenes y la superficie del terreno.

5.2 Recomendaciones

1. En tanto no se cumpla de una manera total el proceso de asentamiento, no deben construirse drenes cubiertos, especialmente los de tubería, en suelos de turba.
2. En los suelos orgánicos y con predominio de la totora, ésta debe eliminarse una vez se construya la red, para lograr un mejor funcionamiento de la red de drenaje.

3. Luego de construir una red de drenes en suelos de turba, conviene hacer verificaciones altimétricas para determinar el asentamiento.

4. En cualquier sistema de drenes abiertos, debe hacerse periódicamente mantenimiento cuidadoso para evitar la proliferación de malezas, las cuales reducen la velocidad de descarga y favorecen la sedimentación.

5. En cualquier sitio de la parte plana del Valle de Sibundoy, debe darse pendiente a todos los drenes, incluyendo los de descargas, ya que las pendientes naturales del terreno son mínimas.

6. Deben realizarse estudios detallados acerca del asentamiento y la irreversibilidad del proceso de secamiento-humedecimiento, de los suelos de turba.

7. El Instituto Colombiano de la Reforma Agraria, debe revisar la programación actual para la adecuación de las tierras del Valle de Sibundoy.

VI. RESUMEN

El presente trabajo se realizó entre Agosto de 1974 y Julio de 1975. Su principal objetivo fue encontrar un espaciamiento y profundidad adecuados de drenes en suelos orgánicos del Valle de Sibundoy, Putumayo, Colombia.

Para el efecto se tomó un terreno de aproximadamente 2 hectáreas, al cual se le hizo el levantamiento topográfico total. A continuación se instaló una batería de 26 pozos de observación, distribuidos regularmente y a igual profundidad, ya que no se encontró capa impermeable hasta los 5 m. Se tomaron lecturas de la profundidad del nivel freático en 2 épocas, antes y después de construir los drenes.

Para el diseño del sistema de drenaje, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: régimen freático del Valle de Sibundoy, las características topográficas del terreno, la dirección del flujo (en base a las líneas isohipsas), la conductividad hidráulica (promedio de 1,27 m/día), la densidad aparente (promedio de 0,65 g/cc), la profundidad del sistema radical de los cultivos a implantarse (no menor de 0,30 m), la mínima precipitación pluvial (278 mm/año) y la evaporación correspondiente (81 mm/año).

En base a los cálculos se concluyó que el espaciamiento más favorable era de 40 m, y el abatimiento promedio de la curva de saturación de 0,40 m. Esto permitió trazar 5 drenes en zanja abierta con tirante de colmatación de 0,80 m. Igualmente, se consideró dar una mayor capacidad al dren de la parte superior, por lo cual quedó con una plantilla de 0,52 m, mientras que los 4 restantes alcanzaron a 0,20 m. Debido a la insuficiente pendiente natural del terreno (aproximadamente 0,2%), fue necesario construir los drenes con alguna pendiente para lograr un total de 0,4%, a fin de evitar el refluo, fenómeno de común ocurrencia en la parte plana del Valle de Sibundoy.

SUMMARY

Present work was carried out from August, 1974 to July, 1975. Principal aim was to find adequate spacing and depth of drains in the organic soils of Sibundoy Valley, Putumayo, Colombia.

A 2 Ha field was measured and its topographic survey was made. 26 observation wells uniformly distributed and at same depth were installed, because there is not impermeable layer until 5 m. Several lectures of water table depth were made, before and after drains construction.

For designing drainage system following criteries were account for :
freatic regime of the Valley, topographic characteristics of field, flow direction (based on isohipses lines), hydraulic conductivity (1,27 m/day average), bulk density (0,65 g/cc average), root system depth of crops that will be grown (above 0,30 m), maximum rainfall (278 mm/month) and corresponding evaporation (81 mm/month).

According calculation it was concluded more favorable spacing is 40 m and average dropping of saturation curve was 0,40 m. This allowed construct 3 open ditch drains with total depth of 0,80 m. Equally, it was considered give a higher capacity to drain of top side, getting with a bottom width of 0,52 m, while the others got 0,20 m. Because by the insufficient natural slope of the field (about 0,2%), it was necessary to construct the drains with some slope for getting 0,4%, avoiding flowing back, common fact at plain part of Sibundoy Valley.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. ARELLANO, M. y OJEDA, P. Métodos de drenaje. In Colombia, ICA-Universidad Nacional, Ed. Riego y Drenaje. Bogotá, ICA-Universidad Nacional, 1971. pp. 41-53.
2. ARIAS, H. Diseño de sistemas de drenaje. Pasto, Universidad de Nariño, 1974. 53 p. (Departamento de Ingeniería No. 2).
3. BAVER, L. D., GARDNER, W. H. y GARDNER, W. R. Física de suelos. Trad. del inglés por Jorge Rodríguez. México, UTENA, 1973. 530 p.
4. CORREA, A. Riegos y drenajes. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 1973. p. irr.
5. CURSO DE RIEGO Y DRENAJE. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario-Universidad Nacional de Colombia, 1971. p. 28.
6. ROCHA, H. O. DA. Mapificación y clasificación de los suelos orgánicos del Valle de Sibundoy. Bogotá, INCORA. 1974. 275 p.
7. FORSYTHE, W. O. Manual de laboratorio de Física de Suelos. Costa Rica, IICA, 1972. 217 p.
8. FOSTER, A. B. Métodos aprobados en conservación de suelos. Trad. del inglés por Adrián B. Valdés y Guillermo Fernández Lara. México, Trillas, 1967. 411 p.
9. GAVANDE, S. Física de Suelos. México, Limusa-Wiley, 1972. 345 p.
10. INSTITUTO COLOMBIANO DE LA REFORMA AGRARIA, INCORA. Uso inmediato del Valle de Sibundoy, Proyecto Nariño-Putumayo No. 1. Bogotá, 1971. 109 p.

11. GRASSI, C. J. Manual de drenaje agrícola. Mérida, CIDIAT, Venezuela, 1969. 189 p. (Material de Enseñanza, Documento No. 63).
12. LUTHIN, H. Drenaje de tierras agrícolas. Trad. del inglés por Alonso Blackaller y Guillermo Fernández Lara. México, Limusa-Wiley, 1967.
13. MALAGON, D. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Vol. 10, No. 1, 1974. pp. 263-264. 343 p.
14. MANJARRES, C. J. y MARIN, J. O. Estudio general de los suelos del Valle de Sibundoy, Putumayo. Bogotá, INCORA, 1966. 54 p. (División de Estudios Técnicos).
15. MOLINA, Z. B. Datos meteorológicos de proyectos del Instituto Colombiano de la Reforma Agraria, Bogotá, INCORA, 1967. 91 p. (División de Fomento).
16. OSPINA, G. L., MARIN, E. y VARELA, J. Estudios agrológicos e investigaciones sobre drenaje. Bogotá, INCORA, 1969. 150 p.
17. ROE, H. B. y AYRES, Q. C. Drenajes agrícolas para ingenieros. Trad. del inglés por Mateo Sust. Barcelona, Omega, 1960. 546 p.
18. VAN BEERS, W. The auger-hole method. Bulletin I. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen. Netherlands. 1965. 35 p.
19. ———. Some nomographs for the calculation of drain spacings. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen. Netherlands. 1965. 46 p.

PLANTING OF FOREST TREES

Table

Year	Planting Area (Hectares)	Number of Trees
1	0.150	0.500
2	0.200	0.600
3	0.250	0.700
4	0.300	0.800
5	0.350	0.900
6	0.400	1.000
7	0.450	1.100
8	0.500	1.200
9	0.550	1.300
10	0.600	1.400
11	0.650	1.500
12	0.700	1.600
13	0.750	1.700
14	0.800	1.800
15	0.850	1.900
16	0.900	2.000
17	0.950	2.100
18	1.000	2.200
19	1.050	2.300
20	1.100	2.400
21	1.150	2.500
22	1.200	2.600
23	1.250	2.700
24	1.300	2.800
25	1.350	2.900
26	1.400	3.000
27	1.450	3.100
28	1.500	3.200
29	1.550	3.300
30	1.600	3.400
31	1.650	3.500
32	1.700	3.600
33	1.750	3.700
34	1.800	3.800
35	1.850	3.900
36	1.900	4.000
37	1.950	4.100
38	2.000	4.200
39	2.050	4.300
40	2.100	4.400
41	2.150	4.500
42	2.200	4.600
43	2.250	4.700
44	2.300	4.800
45	2.350	4.900
46	2.400	5.000
47	2.450	5.100
48	2.500	5.200
49	2.550	5.300
50	2.600	5.400
51	2.650	5.500
52	2.700	5.600
53	2.750	5.700
54	2.800	5.800
55	2.850	5.900
56	2.900	6.000
57	2.950	6.100
58	3.000	6.200
59	3.050	6.300
60	3.100	6.400
61	3.150	6.500
62	3.200	6.600
63	3.250	6.700
64	3.300	6.800
65	3.350	6.900
66	3.400	7.000
67	3.450	7.100
68	3.500	7.200
69	3.550	7.300
70	3.600	7.400
71	3.650	7.500
72	3.700	7.600
73	3.750	7.700
74	3.800	7.800
75	3.850	7.900
76	3.900	8.000
77	3.950	8.100
78	4.000	8.200
79	4.050	8.300
80	4.100	8.400
81	4.150	8.500
82	4.200	8.600
83	4.250	8.700
84	4.300	8.800
85	4.350	8.900
86	4.400	9.000
87	4.450	9.100
88	4.500	9.200
89	4.550	9.300
90	4.600	9.400
91	4.650	9.500
92	4.700	9.600
93	4.750	9.700
94	4.800	9.800
95	4.850	9.900
96	4.900	10.000
97	4.950	10.100
98	5.000	10.200
99	5.050	10.300
100	5.100	10.400
101	5.150	10.500
102	5.200	10.600
103	5.250	10.700
104	5.300	10.800
105	5.350	10.900
106	5.400	11.000
107	5.450	11.100
108	5.500	11.200
109	5.550	11.300
110	5.600	11.400
111	5.650	11.500
112	5.700	11.600
113	5.750	11.700
114	5.800	11.800
115	5.850	11.900
116	5.900	12.000
117	5.950	12.100
118	6.000	12.200
119	6.050	12.300
120	6.100	12.400
121	6.150	12.500
122	6.200	12.600
123	6.250	12.700
124	6.300	12.800
125	6.350	12.900
126	6.400	13.000
127	6.450	13.100
128	6.500	13.200
129	6.550	13.300
130	6.600	13.400
131	6.650	13.500
132	6.700	13.600
133	6.750	13.700
134	6.800	13.800
135	6.850	13.900
136	6.900	14.000
137	6.950	14.100
138	7.000	14.200
139	7.050	14.300
140	7.100	14.400
141	7.150	14.500
142	7.200	14.600
143	7.250	14.700
144	7.300	14.800
145	7.350	14.900
146	7.400	15.000
147	7.450	15.100
148	7.500	15.200
149	7.550	15.300
150	7.600	15.400
151	7.650	15.500
152	7.700	15.600
153	7.750	15.700
154	7.800	15.800
155	7.850	15.900
156	7.900	16.000
157	7.950	16.100
158	8.000	16.200
159	8.050	16.300
160	8.100	16.400
161	8.150	16.500
162	8.200	16.600
163	8.250	16.700
164	8.300	16.800
165	8.350	16.900
166	8.400	17.000
167	8.450	17.100
168	8.500	17.200
169	8.550	17.300
170	8.600	17.400
171	8.650	17.500
172	8.700	17.600
173	8.750	17.700
174	8.800	17.800
175	8.850	17.900
176	8.900	18.000
177	8.950	18.100
178	9.000	18.200
179	9.050	18.300
180	9.100	18.400
181	9.150	18.500
182	9.200	18.600
183	9.250	18.700
184	9.300	18.800
185	9.350	18.900
186	9.400	19.000
187	9.450	19.100
188	9.500	19.200
189	9.550	19.300
190	9.600	19.400
191	9.650	19.500
192	9.700	19.600
193	9.750	19.700
194	9.800	19.800
195	9.850	19.900
196	9.900	20.000
197	9.950	20.100
198	10.000	20.200
199	10.050	20.300
200	10.100	20.400
201	10.150	20.500
202	10.200	20.600
203	10.250	20.700
204	10.300	20.800
205	10.350	20.900
206	10.400	21.000
207	10.450	21.100
208	10.500	21.200
209	10.550	21.300
210	10.600	21.400
211	10.650	21.500
212	10.700	21.600
213	10.750	21.700
214	10.800	21.800
215	10.850	21.900
216	10.900	22.000
217	10.950	22.100
218	11.000	22.200
219	11.050	22.300
220	11.100	22.400
221	11.150	22.500
222	11.200	22.600
223	11.250	22.700
224	11.300	22.800
225	11.350	22.900
226	11.400	23.000
227	11.450	23.100
228	11.500	23.200
229	11.550	23.300
230	11.600	23.400
231	11.650	23.500
232	11.700	23.600
233	11.750	23.700
234	11.800	23.800
235	11.850	23.900
236	11.900	24.000
237	11.950	24.100
238	12.000	24.200
239	12.050	24.300
240	12.100	24.400
241	12.150	24.500
242	12.200	24.600
243	12.250	24.700
244	12.300	24.800
245	12.350	24.900
246	12.400	25.000
247	12.450	25.100
248	12.500	25.200
249	12.550	25.300
250	12.600	25.400
251	12.650	25.500
252	12.700	25.600
253	12.750	25.700
254	12.800	25.800
255	12.850	25.900
256	12.900	26.000
257	12.950	26.100
258	13.000	26.200
259	13.050	26.300
260	13.100	26.400
261	13.150	26.500
262	13.200	26.600
263	13.250	26.700
264	13.300	26.800
265	13.350	26.900
266	13.400	27.000
267	13.450	27.100
268	13.500	27.200
269	13.550	27.300
270	13.600	27.400
271	13.650	27.500
272	13.700	27.600
273	13.750	27.700
274	13.800	27.800
275	13.850	27.900
276	13.900	28.000
277	13.950	28.100
278	14.000	28.200
279	14.050	28.300
280	14.100	28.400
281	14.150	28.500
282	14.200	28.600
283	14.250	28.700
284	14.300	28.800
285	14.350	28.900
286	14.400	29.000
287	14.450	29.100
288	14.500	29.200
289	14.550	29.300
290	14.600	29.400
291	14.650	29.500
292	14.700	29.600
293	14.750	29.700
294	14.800	29.800
295	14.850	29.900
296	14.900	30.000
297	14.950	30.100
298	15.000	30.200
299	15.050	30.300
300	15.100	30.400
301	15.150	30.500
302	15.200	30.600
303	15.250	30.700
304	15.300	30.800
305	15.350	30.900
306	15.400	31.000
307	15.450	31.100
308	15.500	31.200
309	15.550	31.300
310	15.600	31.400
311	15.650	31.500
312	15.700	31.600
313	15.750	31.700
314	15.800	31.800
315	15.850	31.900
316	15.900	32.000
317	15.950	32.100
318	16.000	32.200
319	16.050	32.300
320	16.100	32.400
321	16.150	32.500
322	16.200	32.600
323	16.250	32.700
324	16.300	32.800
325	16.350	32.900
326	16.400	33.000
327	16.450	33.100
328	16.500	33.200
329	16.550	33.300
330	16.600	33.400
331	16.650	33.500
332	16.700	33.600
333	16.750	33.700
334	16.800	33.800
335	16.850	33.900
336	16.900	34.000
337	16.950	34.100
338	17.000	34.200
339	17.050	34.300
340	17.100	34.400
341	17.150	34.500
342	17.200	34.600
343	17.250	34.700
344	17.300	34.800
345	17.350	34.900
346	17.400	35.000
347	17.450	35.100
348	17.500	35.200
349	17.550	35.300
350	17.600	35.400
351	17.650	35.500
352	17.700	35.600
353	17.750	35.700
354	17.800	35.800
355	17.850	35.900
356	17.900	36.000
357	17.950	36.100
358	18.000	36.200
359	18.050	36.300
360	18.100	36.400

TABLA I

PROFUNDIDAD MINIMA DEL NIVEL FREATICO EN CONDICIONES
INICIALES Y FINALES
(m)

Pozo No.	Nivel freático inicial	Nivel freático final	Incremento
1	0,000	0,350	0,350
2	0,048	0,330	0,282
3	0,028	0,200	0,172
4	0,000	0,200	0,200
5	0,180	0,340	0,160
6	0,450	0,850	0,400
7	0,080	0,280	0,200
8	0,030	0,150	0,120
9	0,030	0,250	0,220
10	0,055	0,200	0,145
11	0,047	0,220	0,173
12	0,010	0,200	0,190
13	0,040	0,420	0,380
14	0,000	0,450	0,450
15	0,195	0,600	0,405
16	0,145	0,550	0,405
17	0,000	0,250	0,250
18	0,000	0,200	0,200
19	0,000	0,150	0,150
20	0,000	0,150	0,340
21	0,060	0,400	0,200
22	0,450	0,650	0,188
23	0,412	0,600	0,310
24	0,090	0,400	0,093
25	0,107	0,200	0,150
26	0,000	0,150	
Promedio	0,094	0,336	0,240

TABLA II

VALORES DE DENSIDAD APARENTE Y CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Pozo No.	Densidad Aparente g/cc		Conductividad Hidráulica (Método del barreno) m/día
	Profundidad 0,40 m	0,60 m	
1		0,604	2,22
3	0,377	0,460	
5	0,751	0,645	
6	0,731	0,710	1,126
8	0,657	0,793	
10	0,583	0,763	0,807
11	0,531	0,693	1,405
13	0,756	0,738	
14	0,570	0,589	
15	0,574	0,728	0,556
16	0,592	0,511	
18	0,592	0,692	0,939
19	0,715	0,348	1,311
21	0,582	0,564	
22	0,564	0,873	1,217
23	0,707	0,673	1,202
24	0,697	0,587	1,923
25	0,551		
26		0,616	
	0,665		
Promedio total		0,636 g/cc	1,270 m/día

MEDIDA DE CAMPO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA Fig 2

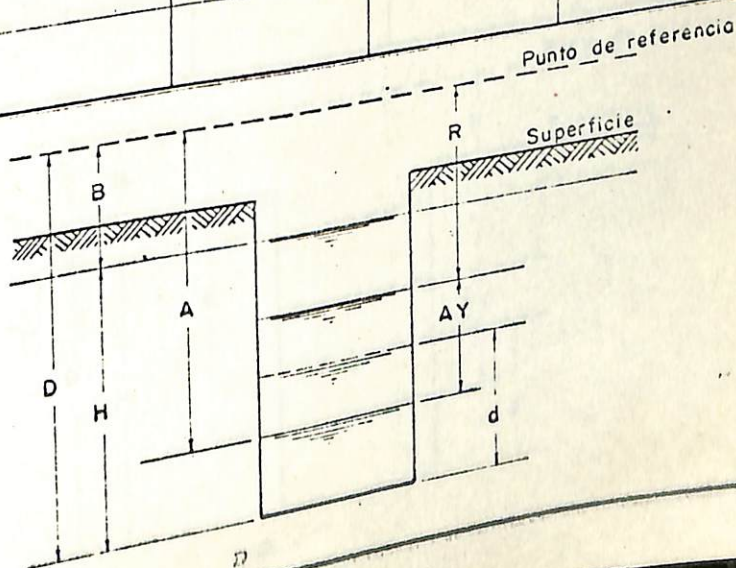
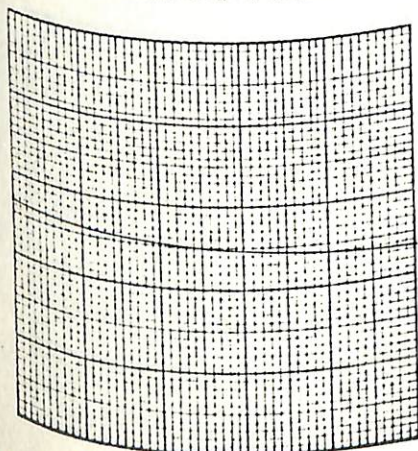
METODO DEL BARRENO

LOCALIZACION La Monta C.E. DEL SUELO _____

NUMERO DEL POZO 11 C.E. DEL AGUA _____

FECHA Abril 22 de 1.975 K. CALCULADA 0,807 m/dia

COMIENZO INTERVALO DE TIEMPO SEGUNDOS	A T SEGUNDOS	DISTANCIA A LA SUPERFICIE DEL AGUA DEL PUNTO DE REFERENCIA			A Y A-R C m.	A H R-B C m.
		ANTES DEL BOMBEO	DESPUES DEL BOMBEO	DURANTE EL ENSAYO		
		B C m.	A C m.	R C m.		
X X"	00"	32,3	39,0		3,5	53,7
20"	20"			86,0	5,4	51,8
20"	40"			84,1	6,0	50,4
20"	60"			82,7	8,5	48,9
20"	80"			81,2	9,5	47,7
20"	100"			80,0	10,2	47,0
20"	120"			79,3		
PROFUNDIDAD DEL POZO = 1,20 m. RADIO = 0,06 m.						



MEDIDA DE CAMPO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA Fig 4

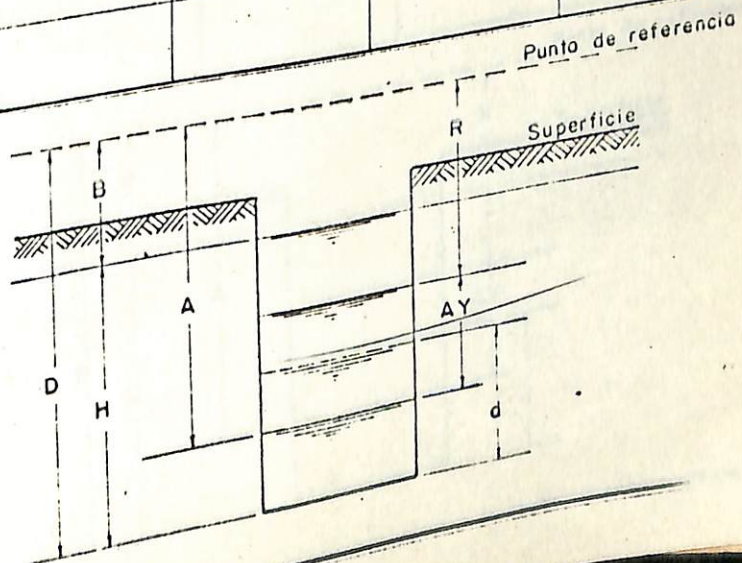
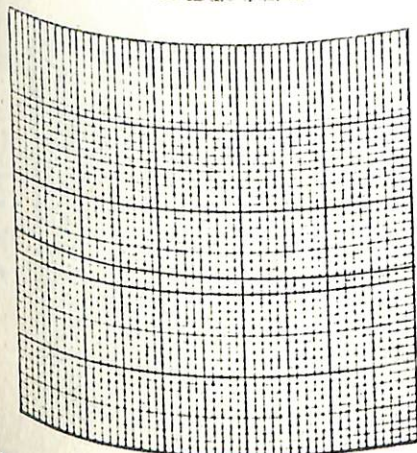
METODO DEL BARRENO

LOCALIZACION La Menta C.E. DEL SUELO _____

NUMERO DEL POZO 16 C.E. DEL AGUA _____

FECHA Abril 22 de 1.975 K. CALCULADA 0,556 m/dia

COMIENZO	A T	DISTANCIA A LA SUPERFICIE DEL AGUA DEL PUNTO DE REFERENCIA			A Y	A H
		ANTES DEL BOMBEO	DESPUES DEL BOMBEO	DURANTE EL ENSAYO	A-R	R-B
		B	A	R	C m.	C m.
INTERVALO DE TIEMPO						
SEGUNDOS	SEGUNDOS	C m.	C m.	C m.		
XX"	00"	44,4	93,5			46,4
20"	20"			90,8	2,7	44,9
20"	40"			89,2	4,3	44,7
20"	60"			89,1	4,6	44,4
20"	80"			88,8	4,7	44,1
20"	100"			88,5	5,0	43,9
20"	120"			88,3	5,2	
PROFUNDIDAD DEL POZO = 1,10 m. RADIO = 0,06 m.						



MEDIDA DE CAMPO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA Fig 5

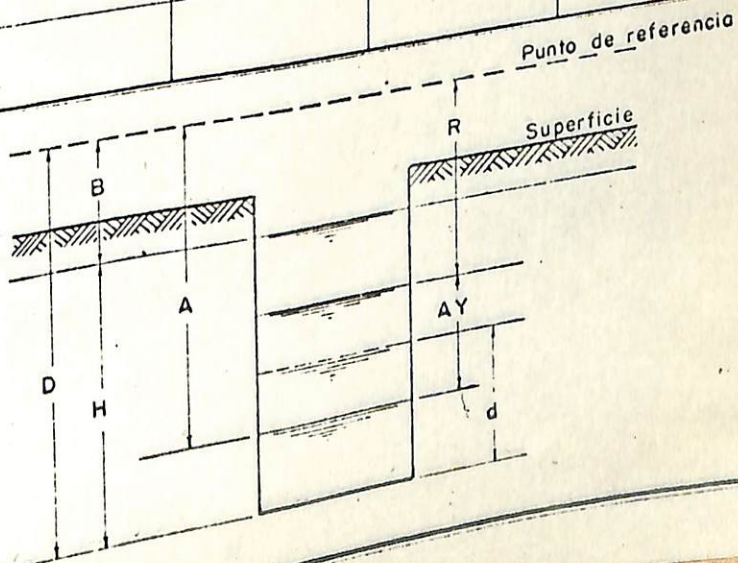
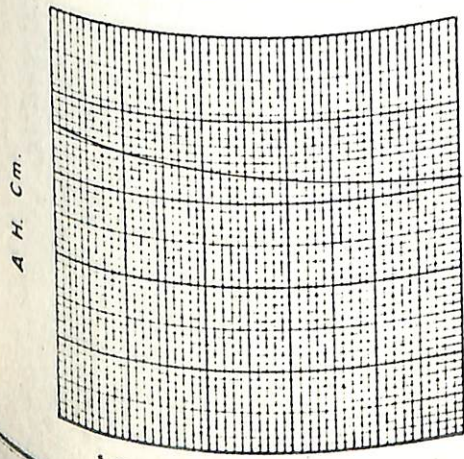
METODO DEL BARRENO

LOCALIZACION La Menta C.E. DEL SUELO _____

NUMERO DEL POZO 19 C.E. DEL AGUA _____

FECHA Abril 22 de 1.975 K. CALCULADA 0.939 m./dia

COMIENZO INTERVALO DE TIEMPO SEGUNDOS	A T SEGUNDOS	DISTANCIA A LA SUPERFICIE DEL AGUA DEL PUNTO DE REFERENCIA			A Y A-R C m.	A H R-B C m.
		ANTES DEL BOMBEO	DESPUES DEL BOMBEO	DURANTE EL ENSAYO		
		B C m.	A C m.	R C m.		
XX"	00"	30.8	105.0			71.2
20"	20"			102.0	3.0	68.7
20"	40"			99.5	6.5	66.2
20"	60"			97.0	8.0	64.7
20"	80"			95.5	9.5	63.1
20"	100"			93.9	11.1	62.0
20"	120"			92.8	12.2	
PROFUNDIDAD DEL POZO = 1.10 m. RADIO = 0.06 m.						



MEDIDA DE CAMPO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA Fig. 6

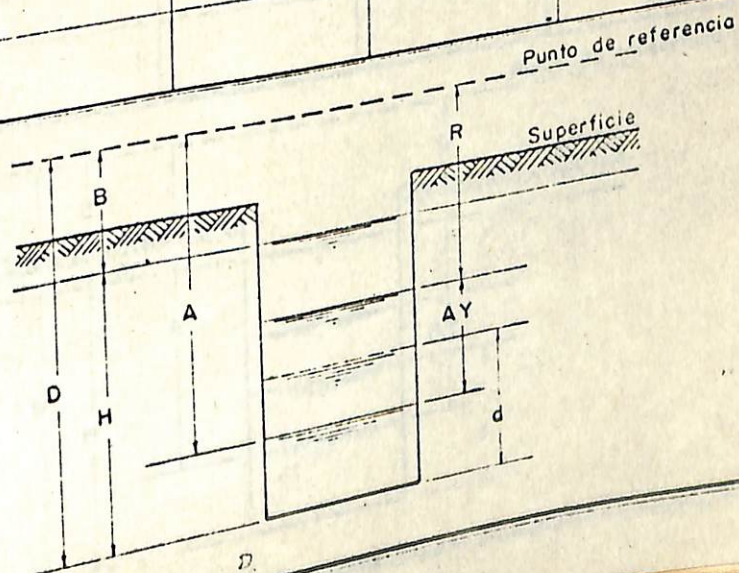
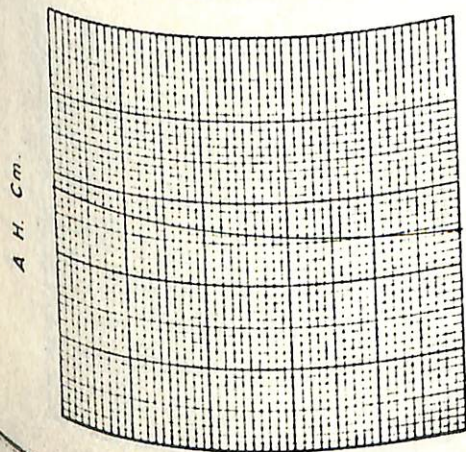
METODO DEL BARRENO

LOCALIZACION La Menta C.E. DEL SUELO _____

NUMERO DEL POZO 21 C.E. DEL AGUA _____

FECHA Abril 22 de 1975 K. CALCULADA 1.311 m./dia.

COMIENZO	A T	DISTANCIA A LA SUPERFICIE DEL AGUA DEL PUNTO DE REFERENCIA			A Y	A H
		ANTES DEL BOMBEO	DESPUES DEL BOMBEO	DURANTE EL ENSAYO		
		B	A	R	A-R	R-B
INTERVALO DE TIEMPO						
SEGUNDOS	SEGUNDOS	C m.	C m.	C m.	C m.	C m.
XX"	00"	44.8	106.5			58.2
20"	20"			103.0	3.5	55.0
20"	40"			99.8	6.7	53.0
20"	60"			97.8	8.7	51.0
20"	80"			96.0	10.5	49.8
20"	100"			94.6	11.9	48.7
20"	120"			93.5	13.0	
PROFUNDIDAD DEL POZO = 1.10 m. RADIO = 0.06 m.						



METODO DEL BARRENO

La Menta

C.E. DEL SUELO

24

C.E. DEL AGUA

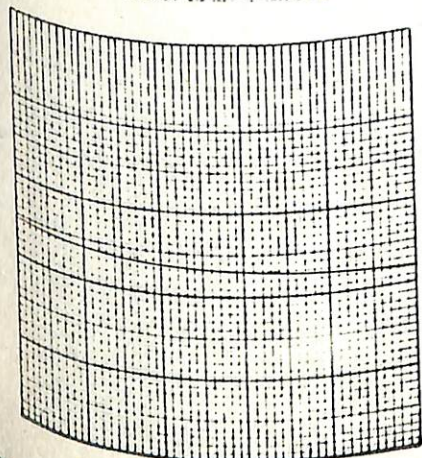
Abril 22 de 1.975

1,217 m/dia

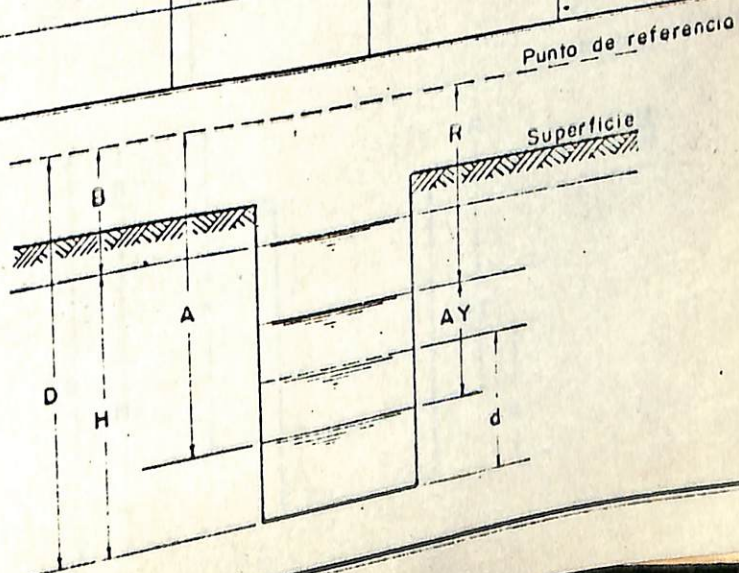
Abril 22 de 1.975

K. CALCULADA

FECHA		Abril 22 de 1975		K. CALCULADA		
COMIENZO	A T	DISTANCIA A LA SUPERFICIE DEL AGUA DEL PUNTO DE REFERENCIA			A Y	A H
INTERVALO DE TIEMPO		ANTES DEL BOMBEO	DESPUES DEL BOMBEO	DURANTE EL ENSAYO	A-R	R-B
		B	A	R	C m.	C m.
SEGUNDOS	SEGUNDOS	C m.	C m.	C m.		
XX"	00"	43.7	98.0		5.5	48.8
20"	20"			92.5	8.0	46.3
20"	40"			90.0	8.7	45.6
20"	60"			89.3	9.7	44.6
20"	80"			88.3	9.8	44.5
20"	100"			88.2		
PROFUNDIDAD DEL POZO = 1.10 m. RADIO = 0.06 m.						
Punto de referencia						
Superficie						



TIEMPO EN SEGUNDOS



MEDIDA DE CAMPO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA Fig. 10

METODO DEL BARRENO

LOCALIZACION La Menta C.E. DEL SUELO _____

NUMERO DEL POZO 3 C.E. DEL AGUA _____

FECHA Abril 22 de 1975 K. CALCULADA 2,22 m/dia

COMIENZO	A T	DISTANCIA A LA SUPERFICIE DEL AGUA DEL PUNTO DE REFERENCIA			A Y	A H
		ANTES DEL BOMBEO	DESPUES DEL BOMBEO	DURANTE EL ENSAYO		
		B	A	R	A-R	R-B
INTERVALO DE TIEMPO						
SEGUNDOS	SEGUNDOS	C m.	C m.	C m.	C m.	C m.
XX"	00"	33.5	96.0			
20"	20"			88.5	10.5	52.0
20"	40"			82.0	14.0	48.5
20"	60"			80.0	16.0	46.5
20"	80"			79.0	17.0	45.5
20"	100"			78.3	17.7	44.8
20"	120"			77.5	18.5	44.0
PROFUNDIDAD DEL POZO = 1.10 m				RADIO = 0.06 m.		

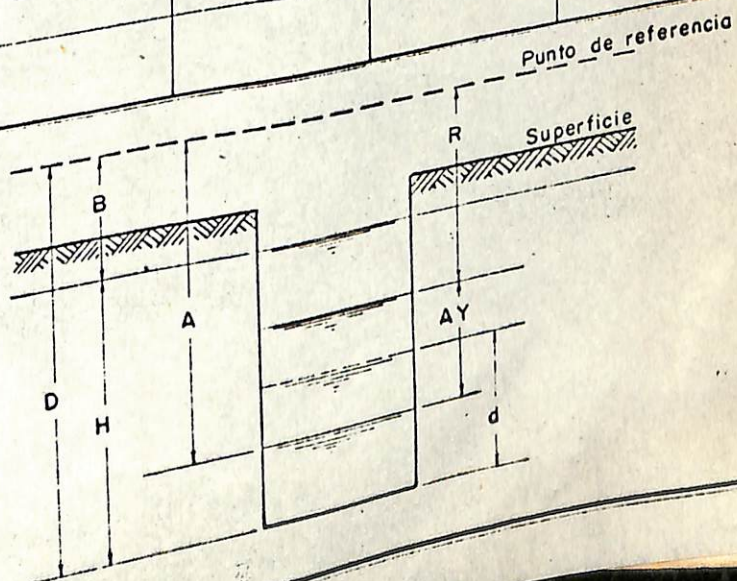
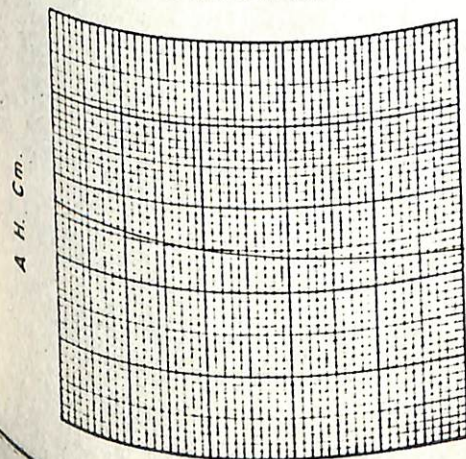




Figura 11. Vegetación predominante (to-
rora)

Foto : J. Rossi



Figura 12. Conducto de descarga del lote.
Obsérvese el pequeño bordo li-
bre

Foto : Autor



Figura 13. Estructura auxiliar para la
instalación de los pozos de
observación.

Foto : Autor



101
•
75
•

Figura 14. Pozo de observación instalado

Foto : Autor.



Figura 15. Equipo para la determinación de la conductividad hidráulica

Foto : Autor



Figura 16. Determinación de la conductividad hidrófuga

Foto : Autor



Figura 17. Vista longitudinal del dren B
Foto : E. Coral Q.



Figura 18. Cambio de dirección del dren E

Foto : E. Coral



Figura 19. Descarga del dren en el canal colector. Obsérvese la posición del nivel freático en el talud.

Foto : Autor.



Figura 20. Obsérvese la diferencia de nivel entre el dren y el canal de descarga

Foto : E. Coral Q.

ANT

631.6

G643

Ej.1

18601

Gonzales M., Mauricio.

Espaciamiento y profundidad
de los drenes en suelos orga.....

VENCE

NOMBRE

Eduardo Chaz

No. del Carnet

1200.492 PASA

AN

T

631.6

G643

Ej.1.

18601