

**EVALUACION DE UN SISTEMA DE DRENAJE A NIVEL PARCELARIO EN EL
MUNICIPIO DE PASTO**

Por

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

//

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

Presidente de Tesis

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

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA**

1974

T
711
631.62
A473
Ej. 1

- II -

UNIVERSIDAD DE NARIÑO	
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS	
PASTO - COLOMBIA	
No. <u>16725</u>	Ej. <u>1</u>
Valor <u>\$900</u>	Vol. <u> </u>
Fecha <u>2-20-75</u>	Don. <u>X</u>
Fact. <u>Regimenia</u>	Canje <u> </u>
Libreria <u>autor</u>	Cmop. <u> </u>

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS

" Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son de responsabilidad exclusiva del autor".

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

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

AL AGRICULTOR MINIFUNDISTA PARA QUIEN SE
DESARROLLO EL PRESENTE TRABAJO

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

A MIS HERMANAS

A MIS FAMILIARES

A MIS COMPAÑEROS

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

DEDICO :

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

Este es un pequeño libro que se ha escrito para
celebrar el aniversario del presente
año.

AGRADECIMIENTOS A :	1
1.1. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.2. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.3. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.4. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.5. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.6. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.7. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.8. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.9. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.10. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.11. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.12. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.13. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.14. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.15. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.16. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.17. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.18. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.19. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.20. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.21. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.22. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.23. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.24. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.25. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.26. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.27. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.28. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.29. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.30. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.31. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.32. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.33. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.34. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.35. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.36. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.37. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.38. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.39. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.40. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.41. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.42. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.43. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.44. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.45. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.46. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.47. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.48. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.49. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.50. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.51. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.52. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.53. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.54. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.55. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.56. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.57. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.58. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.59. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.60. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.61. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.62. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.63. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.64. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.65. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.66. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.67. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.68. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.69. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.70. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.71. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.72. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.73. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.74. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.75. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.76. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.77. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.78. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.79. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.80. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.81. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.82. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.83. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.84. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.85. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.86. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.87. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.88. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.89. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.90. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.91. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.92. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.93. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.94. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.95. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.96. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.97. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.98. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.99. AGRADECIMIENTOS A :	1
1.100. AGRADECIMIENTOS A :	1

Todas las personas que en una u otra forma colaboraron en el desarrollo del presente trabajo.

CONTENIDO

	Pag.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Problemas causados por el mal drenaje	3
2.2 Objetivos del drenaje	6
2.3 Sistemas de drenaje	8
2.4 Criterios para el diseño de drenajes	10
III. MATERIALES Y METODOS	13
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	23
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1 Conclusiones	64
5.2 Recomendaciones	65
VI. RESUMEN	66
SUMMARY	67
VIII. BIBLIOGRAFIA	68
APENDICE	

TABLAS

FIGURA 1.	Mapa de la zona estudiada y distribución del terreno	Pág.
FIGURA 2.	Condiciones iniciales del terreno	
TABLA I.	Algunas características de los suelos en estudio	16
FIGURA 3.	Condiciones finales del terreno, después de la potabilización de la agua	
TABLA II.	Profundidad mínima del nivel freático en condiciones iniciales y finales y de la capa impermeable	29
FIGURA 4.	Nivel freático inicial total, antes final y promedio de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	
FIGURA 5.	Nivel freático inicial total, antes final y promedio de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	
FIGURA 6.	Nivel freático inicial total, antes final y promedio de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	
FIGURA 7.	Nivel freático inicial total, antes final y promedio de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	
FIGURA 8.	Nivel freático inicial total, antes final y promedio de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	
FIGURA 9.	Nivel freático inicial total, antes final y promedio de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	
FIGURA 10.	Nivel freático inicial total, antes final y promedio de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	
FIGURA 11.	Nivel freático inicial total, antes final y promedio de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	
FIGURA 12.	Nivel freático inicial total, antes final y promedio de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	

ILUSTRACIONES

	Pag.
FIGURA 1. Ubicación del lote en la Granja Experimental Botana .	17
FIGURA 2. Distribución de las curvas de nivel y pozos de obser vación	18
FIGURA 3. Pendientes longitudinales y transversales	19
FIGURA 4. Lectura en los pozos de observación	20
FIGURA 5. Plano de líneas isóbatas	21
FIGURA 6. Plano de líneas isohipsas y dirección del flujo . . .	22
FIGURA 7. Condiciones iniciales del lote	30
FIGURA 8. Condiciones iniciales del lote. Obsérvese la baja germinación de la papa	31
FIGURA 9. nivel freático mínimo inicial, mínimo final y profun didad de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación No.s 4, 3, 2, 1	32
FIGURA 10. Nivel freático mínimo inicial, mínimo final y profun didad de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 5, 6, 7, 8	33
FIGURA 11. Nivel freático mínimo inicial, mínimo final y profun didad de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 12, 11, 10, 9	34
FIGURA 12. Nivel freático mínimo inicial, mínimo final y profun didad de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 13, 14, 15, 16	35
FIGURA 13. Nivel freático mínimo inicial, mínimo final y profun didad de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 16, 9, 8, 1	36
FIGURA 14. Nivel freático mínimo inicial, mínimo final y profun didad de la capa impermeable en la línea de los pozos	

	Pag.
observación Nos. 15, 18, 7, 2	37
FIGURA 15. Nivel freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 14, 11, 6, 3	38
FIGURA 16. Nivel freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 13, 12, 5, 4	39
FIGURA 17. Nivel freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de los pozos de observación Nos. 13, 11, 7, 1	40
FIGURA 18. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 1	41
FIGURA 19. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 2	42
FIGURA 20. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 3	43
FIGURA 21. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 4	44
FIGURA 22. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 5	45
FIGURA 23. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 6	46
FIGURA 24. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 7	47
FIGURA 25. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 8	48
FIGURA 26. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 9	49

	Pag.
FIGURA 27. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 10	50
FIGURA 28. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 11	51
FIGURA 29. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 12	52
FIGURA 30. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 13	53
FIGURA 31. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 14	54
FIGURA 32. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 15	55
FIGURA 33. Variación del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No. 16	56
FIGURA 34. Erosión en los taludes de los drenes internos abiertos	57
FIGURA 35. Zanja perimetral abierta en día de recarga pluviométrica	58
FIGURA 36. Empalme entre una zanja perimetral y un dren colector sin cubrir	59
FIGURA 37. Distribución del sistema de drenaje construido	60
FIGURA 38. Excavación de un dren colector	61
FIGURA 39. Colocación del material filtrante, la paja y la tierra en un dren cerrado	62
FIGURA 40. Aspecto final del lote drenado. Observese el efecto del drenaje sobre las condiciones del suelo	63

EVALUACION DE UN SISTEMA DE DRENAJE A NIVEL PARCELARIO EN EL MUNICIPIO DE PASTO (*)

Por

ANTONIO ALVAREZ LOPEZ

I. INTRODUCCION

Dentro de las necesidades de la humanidad que en la actualidad se define como prioritaria, se encuentra la de incrementar la producción y la productividad agrícola y pecuaria. La Adecuación de tierras constituye un factor preponderante que contribuiría a tal incremento.

En la actualidad, grandes extensiones de tierra se encuentran inadecuadas, y por ende no explotadas, debido a la insuficiencia de factores dinámicos del suelo para evacuar excesos de agua a nivel superficial e interno. Es por ello que se plantea el presente trabajo, con el fin de construir sistemas de drenaje que contribuyan a los logros establecidos.

Aunque existen países cuyo progreso en drenajes es notable, grandes superficies del mundo que tienen este problema están aun sin adecuar. En Colombia, el enfoque agrario prevaleciente hace que, únicamente, las grandes empresas agrícolas dispongan de adecuados sistemas de drenajes; en cambio para el resto del país la situación es muy crítica. Se tiene como ejemplo, Nariño, Departamento en donde prevalece el minifundio y el aislamiento en

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

que se lo tiene es total, tanto económica como técnicamente; el problema se agrava más ya que no es solamente la desatención por parte del gobierno sino que existen otras razones y entre ellas están la ignorancia y los escasos recursos económicos de las personas vinculadas al sector rural por una parte y por la otra a las características especiales de los suelos derivados de cenizas volcánicas, los que ocupan grandes áreas en el Departamento, y a la topografía dominante.

Teniendo en cuenta esta situación y con la apremiante necesidad y, por qué no decirlo, con la imperiosa obligación de encontrar soluciones rápidas, adecuadas y económicamente factibles, el presente trabajo se ha dirigido a cumplir con estos objetivos.

1. Diseñar, en base a las líneas isóbatas e isohipsas y los perfiles freáticos, un sistema de drenaje a nivel parcelario en la Granja Experimental Betana.

2. Construir el sistema de drenaje diseñado y situarlo en condiciones de funcionamiento.

3. Verificar por medio de pozos de observación el descenso permanente del nivel freático en el terreno bajo estudio.

4. Realizar un análisis sobre los costos que demanda la adecuación de tierras por medio de drenes.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Problemas causados por el mal drenaje

El exceso de agua en el suelo disminuye el intercambio de aire entre el suelo y la atmósfera. Por lo tanto, los suelos húmedos generalmente van acompañados de una deficiencia de oxígeno. Esta deficiencia causa reducciones en la respiración de las raíces y en el volumen total de las mismas, incrementa la resistencia al transporte de agua y nutrimentos a través de las raíces y forma compuestos tóxicos en el suelo y la planta. Las raíces de prácticamente todas las especies vegetales no acuáticas son afectadas si se permite que el suelo permanezca inundado. Una continuada aireación pobre resulta en muerte de las células, un descenso en la permeabilidad de aquelllas y aun, en la muerte de las raíces. La magnitud del ataque depende de la especie, del grado del desarrollo, de las temperaturas del suelo y el aire y de la duración de la inundación (14).

Se requiere una considerable cantidad de oxígeno en el suelo para la mineralización de los nutrimentos a partir de la materia orgánica y a través de la actividad microbiológica. Una aireación deficiente reduce dicha actividad, disminuyendo la tasa de suministro de NH_3^+ y NO_3^- . Consecuencialmente existe una tendencia hacia una deficiencia de N en suelos encharcados.

Todos los procesos biológicos son fuertemente influenciados por la temperatura. Los suelos húmedos poseen una gran capacidad calórica, por lo cual se requieren elevadas cantidades de calor para elevar su temperatura. Es decir, los suelos húmedos son fríos y la germinación y desarrollo de los cultivos son más lentos que en los suelos secos (14). Según Legarda, Arias y Citelly (10) el mal drenaje produce metano el cual es tóxico para la mayoría de las plantas; además muchos minerales pasan de oxidación a reducción.

Los problemas de drenaje surgen casi invariablemente en grandes zonas de riego, principalmente por resultado de la poca eficiencia en la conducción y en la aplicación del agua de riego; también son productos del

escurrimiento subsuperficial que sale o aflora de la zona en donde se hace una aplicación excesiva de agua. Además, el problema del drenaje puede adquirir una mayor magnitud como resultado o producto de un sobrerriego requerido para el mejoramiento o corrección de los problemas de salinidad y de alcalinidad (11).

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

1. Superficie del suelo irregular con depresiones, promonterías, que previenen o retardan la escorrentía natural (los suelos lentamente permeables agrandan el problema).
2. Canales de drenaje dentro del área con capacidad insuficiente, que renueven el agua tan lentamente que el nivel del agua en ellos causa el anegamiento del suelo por periodos largos.
3. Las condiciones del desague que mantienen la superficie del agua por encima del suelo, tales como la elevación del nivel del agua en lagos, durante el invierno.

Las fuentes de agua de drenaje más importantes están constituidas por lluvias, pérdidas de agua de riego, escorrentía o filtraciones procedentes de tierras cercanas más elevadas, o desbordamientos de corrientes y arroyos.

Los problemas de drenaje interno se originan por muchas causas. Las tierras planas tienden a estar pobremente drenadas, especialmente cuando la permeabilidad del subsuelo es baja. Hay muchas áreas húmedas, sin embargo, donde no se encuentra una conexión evidente entre el área de filtración, o el nivel freático alto y la topografía del sitio. Se pueden presentar niveles freáticos altos en sitios donde el suelo es rápido o lentamente permeable, donde el clima es húmedo o árido, y donde la tierra es plana o pendiente.

Por estas razones, es conveniente clasificar los problemas de drenaje

naje interno con relación al origen del exceso de agua y la forma como ésta se mueve dentro y a través del área problema. Este método de identificación de las condiciones subsuperficiales es útil para la solución de los problemas más complejos, porque indica la clase de sistema de drenaje necesario.

De acuerdo con Arellano y Ojeda (1), en los proyectos de riego es frecuente crear problemas de drenaje donde no existían antes, entre otras causas por las siguientes :

1. Desconocimiento de las necesidades de drenaje por parte de proyectistas. En el diseño y cálculo predomina el criterio hidráulico y estructural.
2. Las tierras para riego se escogen sin tener en cuenta limitaciones de estratos más profundos que los investigados comúnmente desde el punto de vista edafológico.
3. Construcción de grandes obras civiles sin el correspondiente plan de desarrollo agrológico, de manera que durante los años de maduración del proyecto se dispone de excesiva cantidad de agua.
4. Carencia de restricciones y/o regulaciones técnicas, económicas y legales para obligar al uso eficiente del agua en el predio.

Según el Servicio de Conservación de Suelos (6) las superficies planas y casi planas están sujetas a agua estancada, debido a :

1. Superficie desigual del suelo, con bolsones o crestas que impiden o retrasan el escurrimiento natural (los suelos lentamente permeables aumentan el problema).
2. Canales o zanjas evacuadores de baja capacidad dentro de la zona, que eliminan el agua tan lentamente que el alto nivel del caudal de los canales hace que haya encharcamiento en la tierra durante periodos capaces de causar daños.

3. Condiciones de desagüe que mantienen la superficie del agua por encima del nivel del suelo, tales como láminas de agua en lagos o estanques, o elevaciones del agua debidas a las mareas.

En relación a los problemas de drenaje en Latinoamérica, Grassi (9) conceptúa que en las condiciones de los climas húmedos y semihúmedos tropicales que caracterizan a gran parte de América Central y del norte de América del Sur, los problemas de drenaje resultan como consecuencia de un desigual régimen pluvial y evapotranspiratorio. Durante un período que varía entre 6 y 8 meses según las zonas, es posible realizar cultivos "a temporal", en tierras con buenas condiciones de drenaje externo e interno, solo con el concurso de la precipitación natural. Durante los siguientes 4 a 6 meses, sobreviene un período de sequía con una precipitación muy inferior a la evapotranspiración, por lo que agotada la reserva de humedad en el suelo, la posibilidad potencial de realizar cultivos sólo puede ser aprovechada con el concurso del riego artificial. En general, dado las condiciones de formación de los suelos las áreas a irrigar en las tierras llanas del Trópico presentan una baja capacidad natural de drenaje, si se tiene en cuenta la magnitud de la recarga de acuíferos. Durante el período de lluvias, los niveles freáticos ascienden aproximándose a la superficie del suelo. En el período de sequía, obviamente la descarga es superior a la recarga y los niveles bajan.

2.2. Objetivos del drenaje

En su más amplio sentido, el avenamiento del terreno en las regiones húmedas es la eliminación del agua libre, tanto de la superficie del terreno como del suelo en la zona de las raíces de las plantas. En su sentido más técnico, se entiende por drenaje el control de la elevación del nivel del agua subterránea dentro de la zona de las raíces que de los mejores resultados en la producción de cosechas (11).

El buen drenaje permite mantener las condiciones de aireación y la actividad biológica del mismo, indispensable para cumplir los procesos fisiológicos relativos al crecimiento radical. De esta manera se garantiza

un mejor soporte mecánico y mayor acceso al agua y a los nutrimentos. Así mismo, el drenaje tiene como objetivo la remoción de sales del suelo y el mantenimiento de su balance salino. Por ello se entiende no sólo la lixiviación de sales que originalmente contiene el suelo, sino también el abatimiento de los niveles freáticos, para evitar que las sales asciendan a la zona radical a través del agua que consumen las plantas (9).

El objetivo principal de los sistemas de drenajes en regiones húmedas es bajar el contenido de humedad en las capas superiores del perfil, de tal manera que el aire pueda penetrar hasta las raíces, facilitando el transporte de CO_2 producido por aquellas, la actividad de los microorganismos y las reacciones químicas (14).

Según Gavande (8) un drenaje adecuado beneficia en las siguientes formas:

1. Facilita la labranza y la siembra temprana
2. Aumenta la duración del período de cultivo
3. Facilita la aireación del suelo
4. Asegura una temperatura más alta en el suelo
5. Proporciona a las plantas más humedad aprovechable y elementos nutritivos, al aumentar la profundidad de la zona radicular, favoreciendo su crecimiento
6. Lave las sales en exceso
7. Incrementa los procesos microbiológicos (bacterias, hongos y otros organismos)
8. Reduce la incidencia de plagas y enfermedades
9. Mejora la estructura del suelo
10. Mejora las condiciones sanitarias y hace la vida rural más atractiva.

2.3 Sistemas de drenaje

Roe y Ayres (13) afirman que bajo condiciones especialmente favorables de suelo y subsuelo completamente permeables y declive natural suficiente, los canales abiertos pueden ofrecer un amplio desagüe, tanto superficial como subterráneo para especies de escaso desarrollo radical. No obstante, en la mayor parte de los casos, las zanjas abiertas solas no ofrecen un sistema completo de drenaje, sino que desempeñan una función igualmente importante al recibir y evacuar el exceso de agua superficial y actuando como salidas para los sistemas requeridos de desagüe inferior.

El objeto del avenamiento subterráneo es hacer descender el nivel del agua libre dentro de la zona de las raíces, o tan cerca como sea posible de la profundidad media de arraigamiento de los cultivos y mantenerlo tan aproximadamente constante como sea posible a dicho nivel. Los medios artificiales empleados para llevar a cabo el avenamiento subterráneo son las zanjas abiertas, el drenaje por tablas, el drenaje por cajas de madera y el drenaje por tuberías (13).

Antes de la aparición de la tubería, los granjeros a menudo cavaban zanjas de 60 a 90 cm de profundidad y 30 cm de ancho, en las cuales colocaban tres tablas. Estas se ponían en forma de triángulo y luego se rellenaban las zanjas; se les daba una salida a una zanja abierta. El agua resumaba en torno de las tablas y fluía a lo largo de ellas hacia la zanja abierta. El drenaje por medio de piedras se realiza de manera algo similar a la efectuada mediante tablas de madera. Si se dispone de grandes piedras planas, se colocan a los lados de la zanja con una sobre la parte superior formando así un pequeño canal que es más duradero que las tablas. Si no se pueden obtener piedras planas, se echan en la zanja pequeñas piedras irregulares de un grueso de 15 a 20 cm. El agua fluye a través de los intersticios hacia el desagüe. En muchas partes no se tiene piedras disponibles para tal uso, y aun cuando se tuviesen, el segundo de los métodos, especialmente, no es recomendable porque los intersticios se atascan con lodo, suspendiendo el flujo de agua y constituyendo un serio obstáculo para la instalación de nuevos avenamientos (13).

Uno de los tipos de drenaje superficial es el de los canales interceptores. Una buena regla es interceptar el agua superflua antes de que produzca daños en el predio. Mediante la investigación en el campo o por fotoanálisis es relativamente fácil detectar los cauces superficiales de afluencias. Los canales trazados perpendiculares al flujo, lo captan y conducen al emisario final. En las tierras de piedemonte y aun en las laderas donde es común que el nivel freático, sobre todo en invierno, intercepte la superficie dando lugar a manantiales, nacimientos de agua, se observa tendencia a la formación de pantanos a veces en áreas de consideración. En tales casos drenes interceptores son la mejor solución (1).

Anteriormente se ha clasificado los drenes por su función. Según Grassi (9) existen sin embargo variantes desde el punto de vista constructivo. Un dren hidráulicamente se comporta de la misma manera, según que se trate de una zanja abierta, un tubo conductor de agua, o un material altamente permeable; de allí su clasificación en: 1) drenes abiertos; 2) drenes cerrados.

Un dren abierto es un canal de profundidad variable. De acuerdo a dicha profundidad y a las exigencias de estabilidad de los taludes, su sección transversal es muy grande para un canal que funciona con un mínimo tirante de agua; en consecuencia su sección hidráulica queda sub-utilizada. El desperdicio de tierra cultivable es así mismo evidente y las obras de arte: puentes y alcantarillas, son numerosas y costosas por las características de la sección. Los costos de conservación también son elevados y su limpieza requiere a veces maquinaria especial. La vegetación de los taludes, constituye un foco permanente de refugio de alimañas y de disseminación de malezas.

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, filtro, estructuras accesorias. Sin embargo, 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 costo de mantenimiento.

2.4 Criterios para el diseño de drenajes

Arias (2) presenta los siguientes conceptos con relación a los estudios e informaciones necesarias en un Proyecto de Drenajes:

1. Reconocimiento general (del área a drenar y los terrenos adyacentes)

- Posible origen del exceso de agua
- Determinación de las áreas afectadas
- Localización de los puntos de emisión o evacuación de las aguas drenadas
- Posible localización de algunas estructuras especiales necesarias para el drenaje
- Posición de otros puntos especiales que pueden interferir en el proyecto.

2. Levantamiento topográfico

Debe tomarse curvas de nivel cada 0,25 a 1,0 m de acuerdo a la pendiente del terreno, levantar el perfil longitudinal de los emisores principales y de trecho en trecho, el transversal para determinar las cotas extremas de los niveles de agua de los lugares de salida y relacionarlas con las otras cotas del área. Puede usarse la cuadrícula con nivel o la plancha ta auto-reductora o cualquier otro con teodolito y nivel.

3. Estudios de suelos

Conductividad hidráulica

- muy baja	menos de 0,12 cm/hora
- baja	0,12 a 0,50 "
- moderadamente baja	0,50 a 2,00 "
- moderada	2,00 a 6,20 "

- moderadamente alta	6,20 a 12,5 cm/hora
- alta	12,5 a 25,0 "
- muy alta	más de 25,0 "

4. Estudio del agua subterránea. Para determinar la profundidad del agua subterránea, su variación de lugar a lugar, fluctuación en el tiempo del nivel freático, la salinidad, el movimiento horizontal y vertical del agua, los puntos de alimentación y de descarga y el balance de agua del embalse subterráneo se instala una red de pozos de observación.

Para determinar la profundidad del agua subterránea, su variación de lugar a lugar, fluctuación en el tiempo del nivel freático, la salinidad, el movimiento horizontal y vertical del agua, los puntos de alimentación y de descarga y el balance de agua del embalse subterráneo se instala una red de pozos de observación.

Foster (7) indica 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. La variedad de suelo, la inclinación del terreno, los cultivos, el valor de la tierra y los predios agrícolas colindantes, son factores que deben tenerse todos ellos en cuenta. A menudo un buen sistema de drenaje incluye a cierto número de explotaciones agrícolas. Lo primero que se necesita es un plano detallado del terreno. Este plano tiene que indicar la clase de suelo, cuan productivo será avenado, cuan denso es, cuan profundo hasta llegar a una capa desfavorable, tal como de arena, grava, roca o a un nivel alto de aguas freáticas. Esta información ayudará a determinar si el terreno deberá o no avenarse. Seguidamente se elige un lugar para la descarga o desagüe final, es decir, cómo deberá sacarse el agua y dónde deberá descargársela.

En relación a los criterios seguidos para el diseño de drenajes, Grassi (9) presenta algunas normas:

1. El mapa de niveles freáticos se presenta en la escala en la cual está disponible la documentación cartográfica. Las isohipsas (líneas que unen puntos de igual profundidad del nivel freático teniendo en cuenta las cotas de referencia), pueden estar a una equidistancia que varía entre 0,20 y 0,50 m, según los gradientes hidráulicos disponibles. Del mapa de isohipsas pueden obtenerse varias conclusiones: 1) dirección del flujo; 2) gradiente hidráulico; 3) área de recarga y/o de descarga; 4) valor rela

tivo de la conductividad hidráulica.

2. El mapa de profundidad a la superficie freática si se fija una escala de las profundidades del plano freático: 0 m a 0,50; 0,50 a 1,00; 1 m a 1,50 m, etc y se planimetran las áreas correspondientes, se obtienen las superficies absolutas y relativas que corresponden a cada categoría. Es este el mapa más importante para justificar o no la realización de una obra de drenaje, ya que es el que permite realizar un análisis agroeconómico y determinar la necesidad y factibilidad de una obra; y es por lo tanto el mapa de trabajo de mayor relevancia práctica. Pueden usarse para confeccionar este mapa, los datos leídos directamente en los pozos de observación, o por diferencias obtenidas al superponer el mapa de curvas de nivel del terreno con el de curvas del nivel freático. En los puntos de cruce de ambas curvas, se anota directamente el valor de la diferencia. Luego trabajando solo con estas diferencias, por interpolación, se obtiene el mapa de isóbatas (líneas que unen puntos de igual profundidad del nivel freático con relación a la superficie del suelo). En realidad para dar un cuadro más completo de la severidad del problema, conviene trazar las isóbatas no para una fecha determinada, sino seleccionando cada pozo, el valor mínimo de un período crítico, por ejemplo de 4 a 6 meses.

3. Los perfiles del nivel freático se confeccionan en la dirección del flujo, con el objeto de tener una más clara idea de los gradientes disponibles y sus cambios a lo largo del mismo. También sirven para reconocer más claramente la zona de recarga y la de descarga, y determinar la localización topográfica más adecuada para los drenes interceptores.

El análisis cuidadoso de la documentación obtenida y en especial la superposición de los mapas a que se ha hecho referencia anteriormente, permite establecer la naturaleza y extensión del problema de drenaje y adoptar un programa de acción, el que puede consistir en: 1) medidas de tipo preventivo para reducir la recarga; 2) obras generales a nivel de distrito; 3) obras de drenaje y rehabilitación integrales.

III. MATERIALES Y METODOS

El Altiplano de Pasto está situado en el Departamento de Nariño al extremo suroeste de Colombia. El área estudiada se encuentra en la Granja Experimental Botana, propiedad de la Universidad de Nariño, en el Municipio de Pasto, a una altura de 2.960 msnm; la temperatura oscila entre 10 y 12°C y tiene una precipitación anual aproximada de 900 mm; la formación ecológica se clasifica como bosque húmedo montano (3).

El Altiplano está constituido por una mezcla de material volcánico cascajoso. Las rocas eruptivas están representadas por brechas, cantos, bombas, andesitas y cenizas en diferentes grados de compactación. El horizonte A posee una profundidad no mayor de 40 cm; la estructura es suelta y granular en el suelo y blocosa en el subsuelo. Se puede observar que las arcillas y los limos predominan sobre las arenas, lo cual hace al suelo ligeramente plástico (5).

El presente trabajo se realizó en un lote ubicado en la parte baja intermedia de la Granja Experimental de Botana, con una extensión de 6.483,2 m², cubierto de algunas malezas, sin piedras, con una constitución geológica determinada por rocas ígneas, con una capa impermeable a poca profundidad y en épocas alternas de lluvia y verano (Figura 1).

3.1 Levantamiento topográfico

Inicialmente se efectuó el levantamiento topográfico con curvas de nivel a 0,50 m (Figura 2). Además, se establecieron las diferentes pendientes longitudinales y transversales.

3.2 Bateria de pozos de observación

Se escogieron 16 sitios, equidistantes de acuerdo al plano topográfico y luego se ubicaron en el terreno para proceder a perforar en cada sitio con la ayuda de un barreno de 2 pulgadas de diámetro y se penetró 0,10 m en la capa dura del subsuelo. Posteriormente se depositó una capa

de cascajo de 0,10 m de espesor en el fondo; se colocaron los tubos de 1,20 m de largo por 1 pulgada de diámetro con sus 3/4 partes ranuradas en espiral. El tubo se rodeó también en cascajo para evitar una posterior obstrucción y facilitar el flujo hacia el mismo tubo. Los pozos antes mencionados sirvieron como sistema de observación de las profundidades y fluctuaciones del nivel freático.

3.3 Lectura en los pozos de observación

Para la realización de las mismas, se adaptó un sistema de conducción eléctrica, utilizando un galvanómetro, cuyos extremos descubiertos, al hacer contacto con el agua contenido en el tubo, producía un circuito que marcaba en un proveedor previamente conectado y calibrado para el sistema. La altura del agua era la resultante entre la diferencia de la lectura obtenida menos la parte sobresaliente del tubo de la superficie del suelo (Figura 4).

Se tomaron lecturas en los 16 pozos, y en dos etapas distribuidas así: a) durante los meses de Agosto y Octubre se hicieron las primeras lecturas alternas con las cuales se obtuvo los correspondientes niveles freáticos bajo condiciones iniciales; b) una vez desarrollado el sistema de drenaje y desde el 6 de Diciembre de 1974 hasta el 22 de Enero de 1975 se efectuaron lecturas pasando un día.

3.4 Mapificación y perfiles freáticos

1. Se trazaron las líneas isóbatas, en base a los puntos de igual nivel freático en relación a la superficie del suelo en máxima recarga y bajo condiciones iniciales (Figura 5).

2. Se trazaron las líneas isohipsas, también sobre las lecturas iniciales en los pozos de observación y consistió en unir los puntos de igual nivel freático de menor profundidad, pero esta vez en relación a las cotas de referencia (Figura 6).

3. La dirección del flujo se estimó mediante el trazado de líneas aproximadamente perpendiculares a cada línea isohipsa y siguiendo el sentido de la pendiente longitudinal (Figura 6).

4. Se graficaron 9 perfiles freáticos, cada uno de los cuales cubrió 4 pozos de observación, de tal manera que se tuviera un conocimiento integral del terreno.

3.5 Diseño y construcción de los drenes

Teniendo en cuenta los anteriores criterios, las apreciaciones directas en el terreno y algunas de las características físicas del suelo (Tabla I), se realizó el diseño en cuanto a espaciamiento, profundidad y anchura de los canales perimetrales, colectores y secundarios.

En lo referente a la construcción de la red de drenaje se procedió en la siguiente forma : se excavaron 3 zanjas perimetrales con profundidad de 0,70 m y ancho de 0,50 m. Conviene explicar que el canal C, solamente fue rectificado y ampliado, al igual que 3 zanjas de acceso a aquel, todos los cuales estaban funcionando a ritmo mínimo.

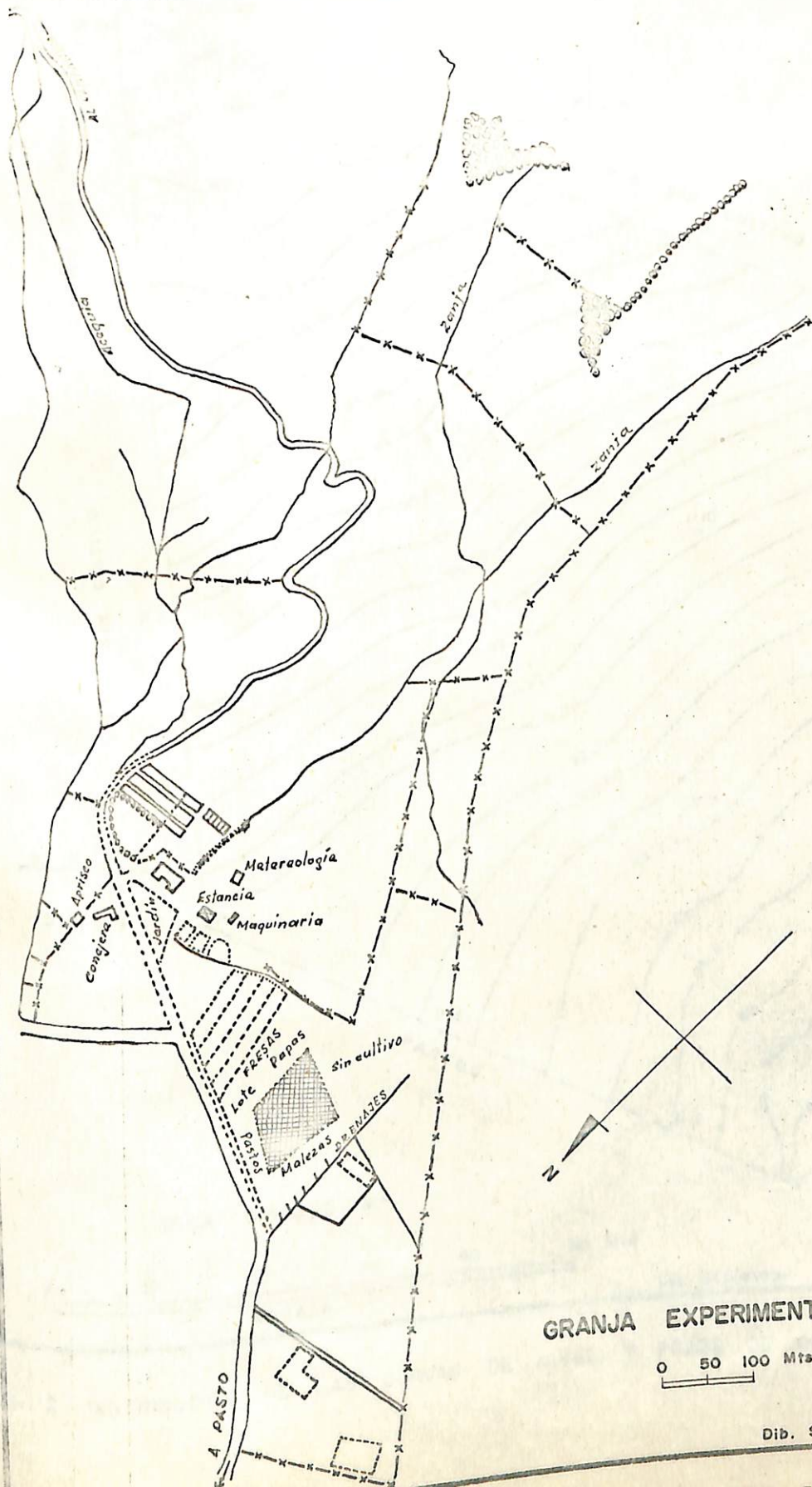
Los 3 canales colectores y los 10 drenes secundarios tuvieron iguales las dimensiones, 0,60 m de profundidad y 0,25 m de ancho. Igualmente, su conformación consistió en una capa de "rañón" de 0,20 m de espesor, a continuación se superpuso una capa de tamo de aproximadamente 0,08 m y por último se recubrió con parte de la tierra excavada.

TABLA I

ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS EN ESTUDIO (*)

Parámetro	Magnitud
Arenas, %	41,85
Arcillas, %	26,06
Limos, %	32,09
Textura	F - Arc
Densidad aparente, g/ml	1,213
Densidad de las partículas, g/ml	2,267
Porosidad total, %	46,75
Materia orgánica, %	1,82
pH	6,70
Humedad en el punto de saturación (base volumétrica), %	48,14
Conductividad hidráulica, cm/hora	0,157

(*) Tomado de Castillo (3)



GRANJA EXPERIMENTAL BOTANA

0 50 100 Mts

Dib. STCervajal

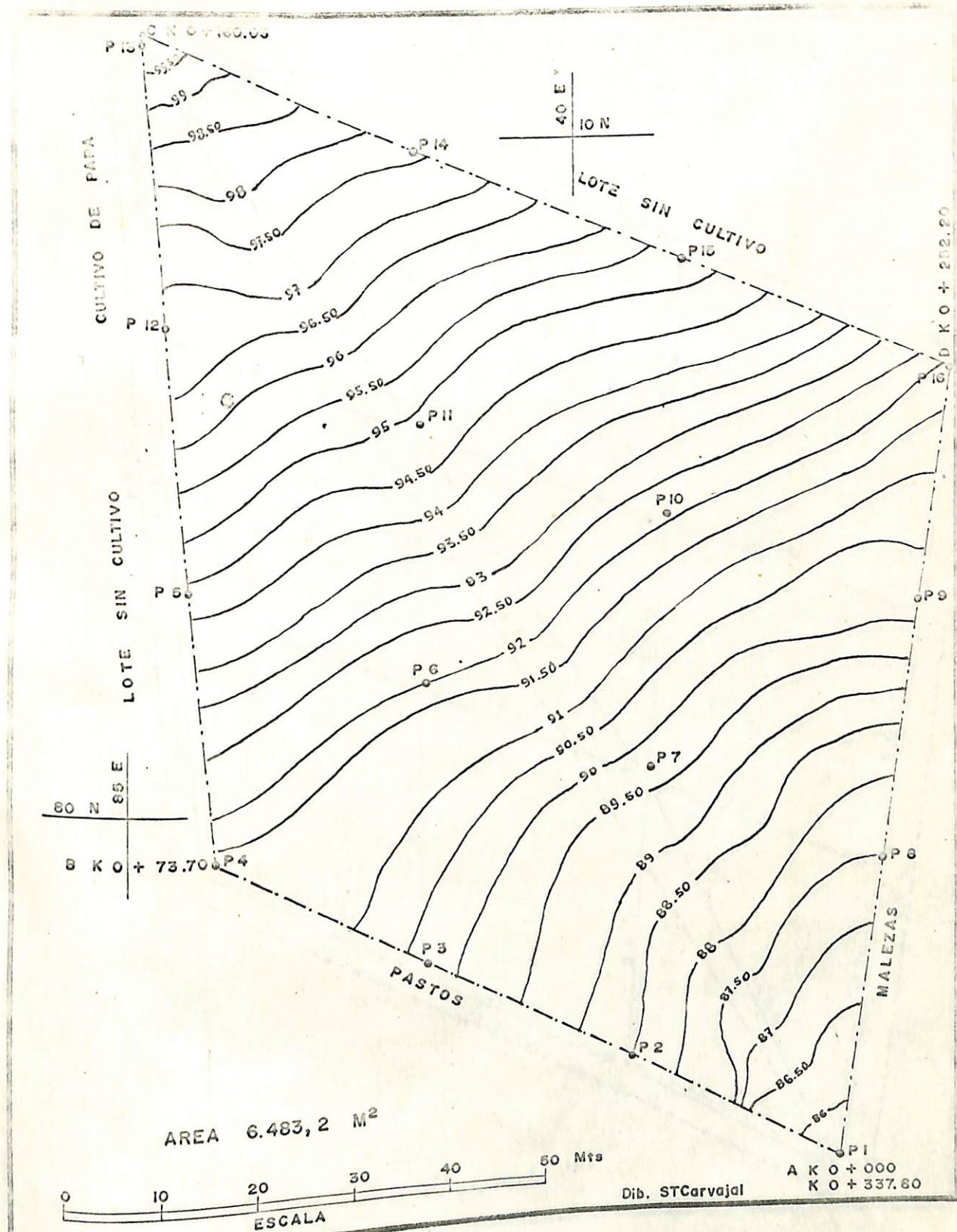


Fig. 2 DISTRIBUCION DE LAS CURVAS DE NIVEL Y POZOS DE OBSERVACION (p)

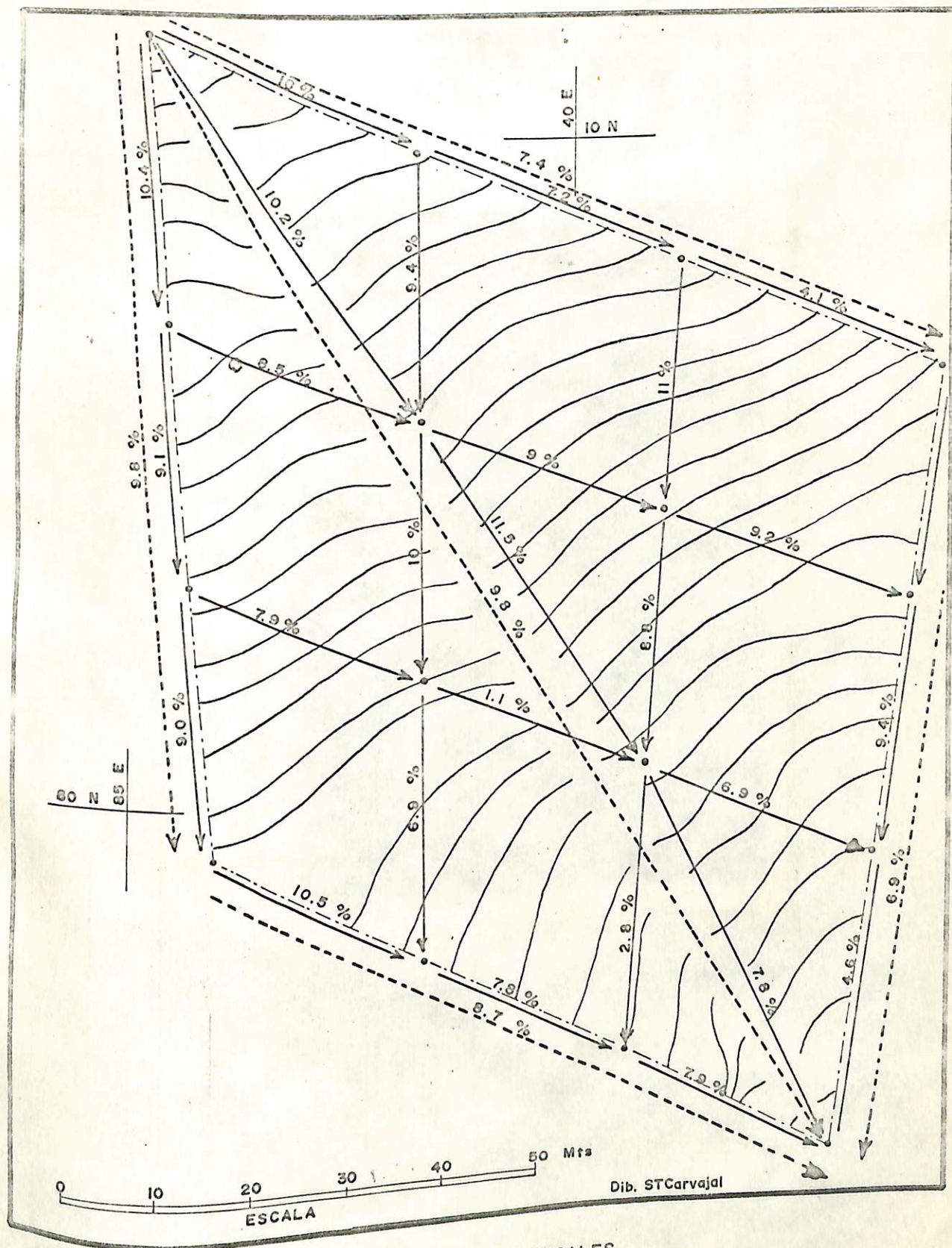


Fig. 3 PENDIENTES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES



FIGURA 4. Lectura en los pozos de observación

Foto : L.E. Delgado

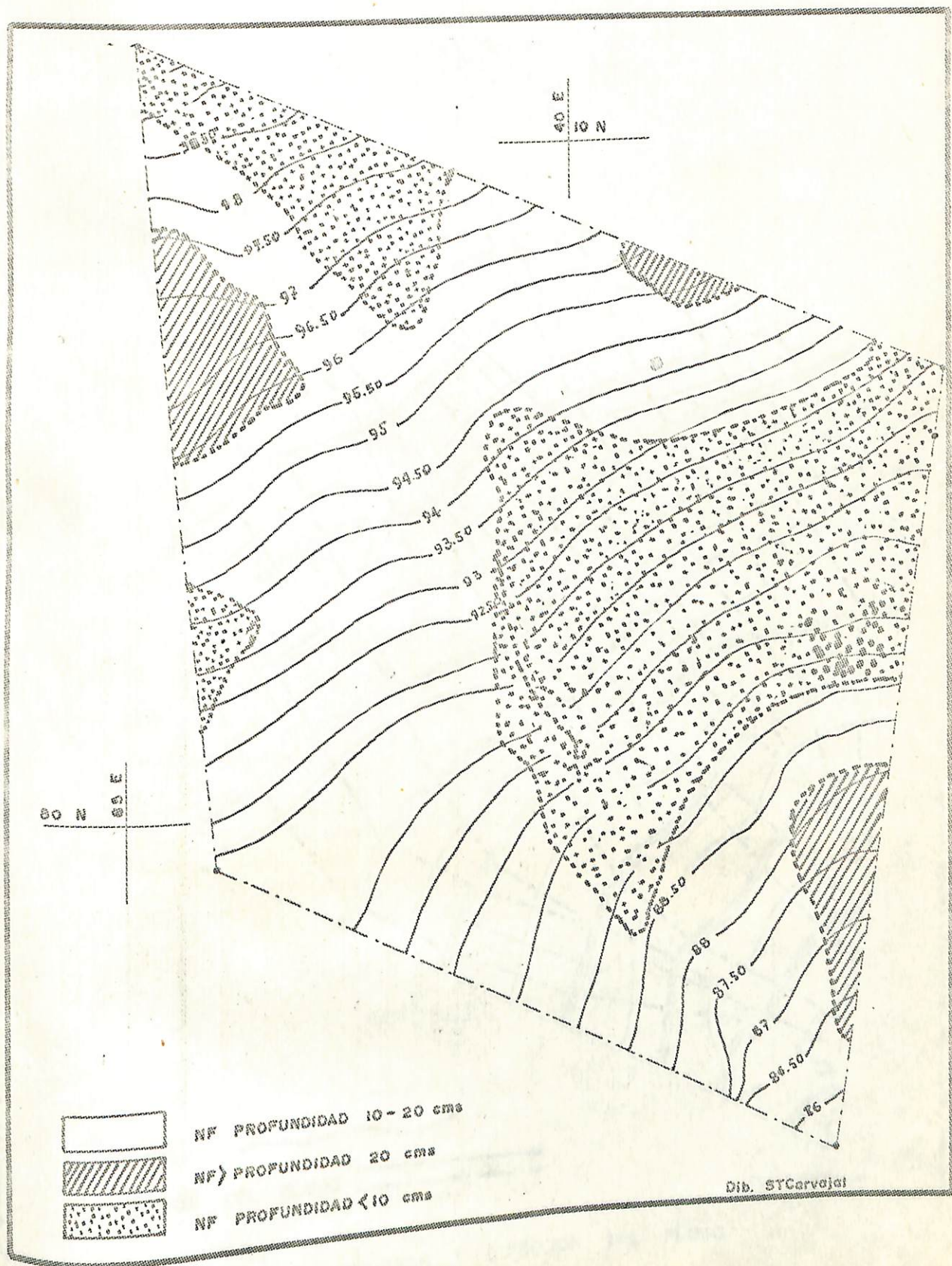
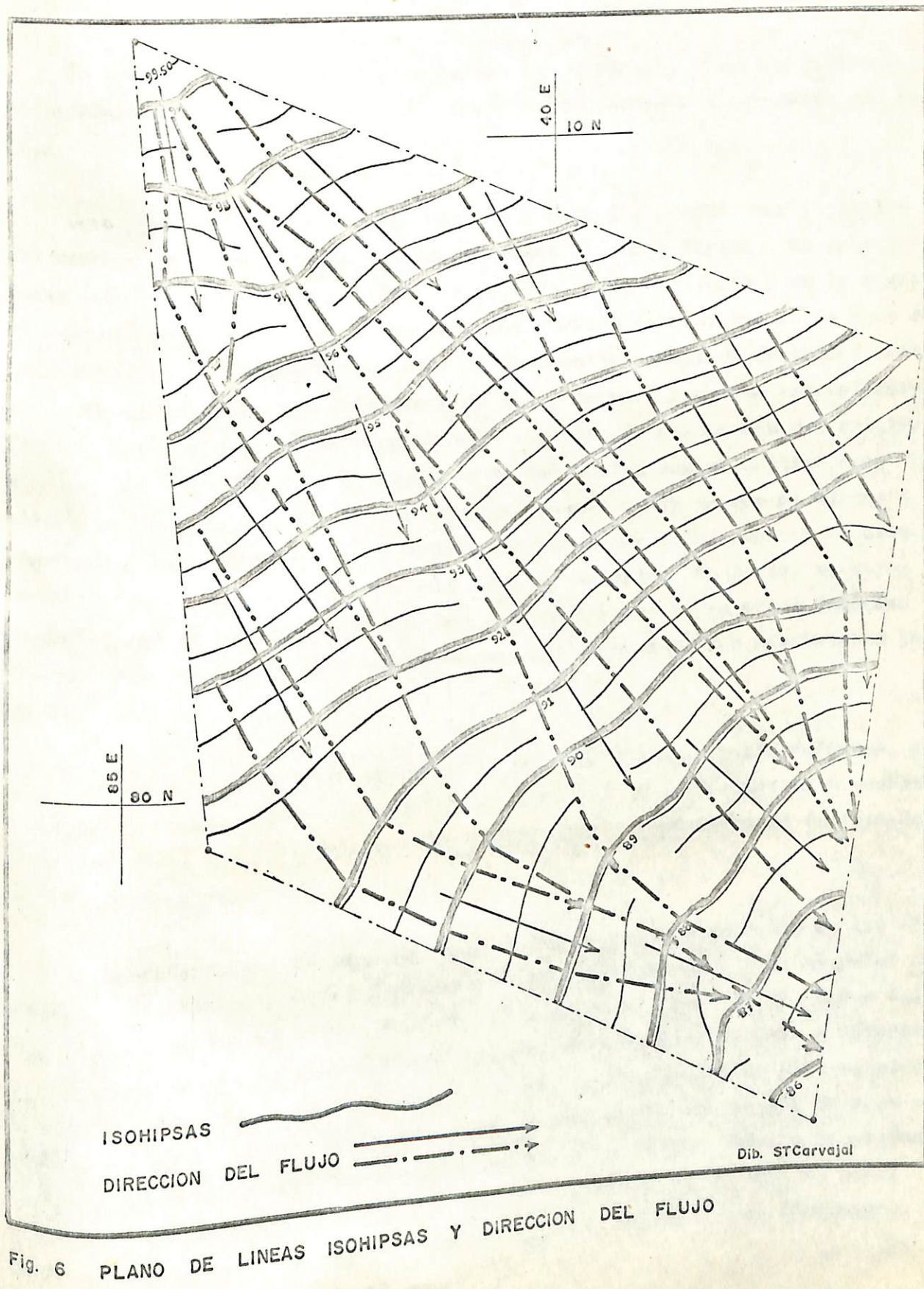


Fig. 5 PLANO DE LINEAS ISOBATAS



IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En las 40 ilustraciones correspondientes a planos, perfiles freáticos, hidrogramas y fotografías, podemos apreciar los resultados generales del trabajo.

Como puede observarse en las Figuras 7 y 8, las condiciones iniciales del terreno eran muy precarias desde el punto de vista físico. Es necesario hacer énfasis en el color grisáceo de la superficie del suelo y en la negativa estructuración del mismo, compacta, que indican como el exceso de agua arriba de la capa impermeable impedía el desarrollo normal de cualquier cultivo. Esto se comprobó con la siembra de papa, la cual tuvo una muy deficiente germinación y desarrollo vegetativo. Aun más, la producción del cultivo sólo alcanzó a la mitad de la cantidad de tubérculos que se utilizó como "semilla". Se escogió la mencionada especie porque, a más de que se adapta a las demás características de la región, en cuanto se relaciona con el clima, la altitud y el suelo, su profundidad radical es baja. Es decir, se quiso comprobar que ni siquiera los cultivos poco exigentes de un nivel freático profundo permanente, se desarrollaban adecuadamente bajo las condiciones iniciales.

A pesar de que el lote experimental ofrecía una apariencia uniforme, al realizar el levantamiento topográfico se constató la existencia de pequeñas irregularidades que de alguna manera dificultaron la realización del diseño de drenaje (Figuras 2 y 3).

En lo referente a la capa impermeable, como puede observarse en las Figuras 9 a 17, tiende a estar localizada a poca profundidad, pues el valor máximo encontrado fue el correspondiente al pozo de observación No. 1 con 1,10 m. Lógicamente que la superficialidad de este estrato contribuía a agravar el problema del exceso de agua, especialmente en las épocas de alta precipitación, ya que al no existir drenes para la evacuación del exceso de agua el nivel freático se elevaba considerablemente. Este último aspecto se evidencia en el pozo de observación No. 9 (Tabla II), sitio en el cual el nivel freático afloró en las épocas de máxima recarga, debido a que, igualmente,

allí alcanzó la capa impermeable la menor profundidad (0,41 m).

En un principio se contó con una zanja perimetral, la cual, si bien es cierto transportaba algunas cantidad de agua, ésta se originaba en la escorrentía superficial en las épocas de recarga pluviométrica. Es decir, la zanja perimetral no incidía en su funcionamiento sobre la variación en la profundidad del nivel freático del terreno en estudio. La razón fundamental para el deficiente trabajo del canal perimetral, estribaba en el curso irregular y la baja profundidad de aquel. A esto se sumaban el problema del exceso de agua, y como se explicó anteriormente, las características topográficas tan irregulares del lote.

Aunque se recomendó la instalación de una batería con 2 o 3 pozos de observación por hectáreas (9), teniendo en cuenta el carácter del presente estudio, se instalaron 16 pozos de observación los cuales estuvieron separados aproximadamente 30 m uno de otro, con lo cual se logró un adecuado cubrimiento del terreno. Además, se los distribuyó en forma de cuadrícula para desarrollar los perfiles freáticos, de tal manera que estos involucraran todos los pozos de observación.

Las lecturas iniciales en los pozos de observación se realizaron entre el 23 de Agosto y el 24 de Octubre de 1974, habiéndose efectuado un total de 13. Estas lecturas (Figuras 18 a 33), sirvieron de base para el trazado de las líneas isóbatas e isohipsas y los perfiles freáticos. Existe una elevada concordancia entre la profundidad del nivel freático y las características climatológicas, especialmente en lo relacionado con la precipitación, pues las mayores elevaciones del nivel freático en los 16 pozos, en general, corresponden a los días calificados como muy húmedos o de alta precipitación. Debe exceptuarse de esta argumentación el pozo de observación No. 13, el cual mostró durante toda esta primera etapa un nivel freático superficial, lo cual puede ser indicativo de la presencia de un "ojo de agua". Este caso excepcional no sufrió mayor variación, luego de construir los drenes, lo cual parece confirmar la presencia de ese nacimiento o afloramiento de alguna corriente subsuperficial.

Aunque en un principio se pensó realizar la red de drenes por medio de

canales abiertos, tal propósito no se pudo llevar a cabo por diferentes razones. En primer lugar el lote hubiera quedado prácticamente inhabilitado para desarrollar labores con maquinaria; además, las pérdidas de terreno cultivable hubieran alcanzado un porcentaje considerable ya que la red de drenaje necesaria cubre el terreno de una manera total. Finalmente, dadas las elevadas pendientes predominantes, al colocar en funcionamiento los drenes abiertos se hubiera presentado una erosión muy severa en los taludes de los mismos, tal como puede verse en la Figura 34. Posiblemente, este problema de la erosión se subsanaría, al menos en forma parcial, dando taludes a los drenes. Desafortunadamente esta solución incrementaría en alto grado la inprovechabilidad de terreno cultivable.

Por el contrario, las zanjas perimetrales se construyeron del tipo abierto, pues como puede observarse en la Figura 35, los inconvenientes mencionados anteriormente no se encontraron aquí, dado que existía una adecuada protección con pasto y los taludes alcanzaron una relación mínima de 1: 1,5. Además, la longitud de las mencionadas zanjas era muy superior al de los drenes internos, lo cual incidía favorablemente aminorando el peligro de erosión, pues la pendiente promedio se moderaba, mediante rectificaciones. Los canales perimetrales fueron contruidos con una profundidad superior por lo menos en 10 cm a la de los colectores para evitar la erosión del lecho en el sitio de empalme. Este fenómeno se puede constatar en la Figura 36. La fotografía se tomó cuando aun no se había completado el dren colector; puede apreciarse en la parte inferior derecha la erosión incipiente. Conviene aclarar que dadas las condiciones del terreno fue necesario construir zanjas en todo el perímetro del terreno. Evidentemente, la construcción de estos drenes perimetrales contribuía a la descarga parcial de los lotes vecinos al de estudio.

El diseño de los drenes colectores y secundarios se basó en las características topográficas del terreno, en la dirección del flujo (Figura 6) y en el valor de la conductividad hidráulica. Es decir, se despreció el plano de las líneas isóbatas, ya que como se puede observar en la Figura 5, las diferencias entre los niveles freáticos en los diferentes pozos de observación son mínimas y, lo que es más importante, la máxima profundidad en las épocas

de máxima recarga pluviométrica solamente alcanzó a 0,31 m en el pozo de observación No. 8 y a 0,29 m en el pozo de observación No. 12, profundidades que cubrían mínimas áreas en relación al conjunto. Debido a que el área en estudio es tan pequeña no se justifica un diseño de drenaje con los cálculos tan complejos, que si se requieren a nivel de distrito; los tres parámetros mencionados al principio se utilizaron en el presente diseño de la siguiente forma: al ser calificada la conductividad hidráulica como muy lenta (Tabla 1), fue necesario trazar los drenes con un espaciamiento en lo posible, no mayor de 20 m y en una cantidad que podría considerarse alta. La dirección del flujo de agua permitió conocer cuales deberían ser las diferentes direcciones de los drenes secundarios. Finalmente, el conocimiento de las características topográficas del lote contribuyó a la localización de los canales colectores, ya que una de sus funciones es servir como interceptor y receptor de los drenes secundarios.

La construcción de la red de drenes comprendió tres tipos de los mismos. El primero se relacionó con la profundización y rectificación de una zanja perimetral ya existente y la construcción de otras dos más, para lograr un cubrimiento perimetral casi total. La segunda clase de drenes lo fueron tres colectores, los cuales se construyeron en ángulo recto aproximadamente, de tal manera que sus vértices quedaran ubicados más o menos sobre la diagonal del terreno. Por último se construyeron diez drenes secundarios, los cuales siguieron la dirección del flujo, respetando el sentido de las pendientes de cada sector. Estos canales secundarios desembocan en los colectores que a su vez lo hacen en las zanjas perimetrales, pero debe tenerse en cuenta que el empalme de los mencionados colectores es por los dos extremos, o sea que cada colector descarga en dos zanjas perimetrales (Figura 37). Tanto en los colectores como en los secundarios el filtro está constituido por piedra partida (raja) con un espesor de 0,20 m; a continuación se colocó una capa de aproximadamente 0,08 m de "tamo" con el objeto de evitar la obstrucción del filtro por el suelo de la parte superior de los canales. Este suelo se reincorporó guardando el mismo orden en que había sido excavado. Para evitar la alteración del perfil (Figuras 38 y 39). Una primera observación de la Figura 38, donde aparece localizada la red completa de drenaje, podría dar la impresión de que se construyó un número excesivo de drenes y

que los mismos no guardan una aceptable simetría. Sin embargo, como se manifestó anteriormente la baja conductividad hidráulica obligó a reducir los espaciamientos, pues estos son inversamente proporcionales a aquella. En segundo lugar, aun a nivel distinto, es muy difícil lograr que los diferentes componentes de una red de drenes guarden una elevada simetría, bajo topografía tan irregular como la presente. En el caso de terrenos totalmente planos, se facilita hacer distribuciones regulares de los drenes.

Como puede observarse en las Figuras 18 a 33, el descenso del nivel freático crítico fue apreciable, con excepción del sitio correspondiente al pozo de observación No. 13, del cual se trató anteriormente. Cabe anotar que en los quince pozos de observación restantes, la máxima elevación durante los días de máxima recarga pluviométrica fue de 0,30 m, hecho que se presentó únicamente en los pozos 3, 9 y 14. Esto permite suponer que los drenes cubiertos construidos en el lote objeto del presente trabajo, presentaron una respuesta positiva; más aún, cuando se alcanzaba la mayor elevación del nivel freático en los diferentes pozos, el tiempo de descarga era relativamente bajo pues en un máximo de tres días se lograba un descenso del nivel freático de por lo menos 0,10 m si el clima continuaba lluvioso y, si se reducía la precipitación, es decir, se cambiaba a clima seco o semihúmedo al nivel freático descendía por lo menos en 0,15 a 0,20 m.

El anterior resultado fue confirmado por el hecho de haber podido efectuar las labores de arado y rastrillado, en tanto que en los terrenos vecinos no se pudo realizar, debido al exceso de agua en el correspondiente perfil del suelo (Figura 40). Esto fue refrendado por los porcentajes de germinación de papa en las dos siembras; en la primera, o sea cuando aun no se había drenado el terreno se alcanzó solamente a un 9%, mientras que en la segunda, con el lote ya adecuado se tuvo un 93%. Del análisis de la Tabla II, se desprende que la profundidad del nivel freático crítico, época de mayor recarga pluviométrica, logró un incremento promedio de 0,234 m en las condiciones finales, o sea luego de construir y entrar en funcionamiento la red de drenaje, en relación a las condiciones iniciales. Para confirmar estos resultados, se efectuó una prueba de Student, teniendo como valores de comparación los niveles freáticos mínimos, tanto para condiciones iniciales co

no finales y de los 10 pozos de observación. La significancia estadística obtenida fue al nivel del 1% (Apéndice).

Por otra parte, el nivel freático crítico promedio de 0,363 m hace suponer que el terreno quedó adecuado para el establecimiento de praderas o siembra de hortalizas y papa, ya que sus profundidades radicales son relativamente bajas y además, debe tenerse en cuenta que la tasa de descarga aumentó sustancialmente.

Según la Organización de los Estados Americanos, Centro Interamericano de Vivienda (12), en una jornada de 8 horas, un obrero puede excavar en este tipo de suelos 4 m^3 . Los anteriores indican que la labor de excavación ocasiona aproximadamente 40 jornales. A esta cifra es necesario agregar otros 20 jornales que se originan en la colocación de la piedra y el tamo y en el cubrimiento de los canales con tierra. Estos 60 jornales representan \$ 2.040 (\$ 34,00 el jornal). Debe agregarse \$ 500,00 por concepto de los estudios preliminares y el diseño correspondiente; \$ 2.520,00 de la piedra (28 m^3 a razón de \$ 90,00 el metro cúbico) y \$ 300,00 por el tamo. El monto total alcanza a \$ 5.360,00 para un costo de \$ 0,82/ m^2 . Conviene explicar que de este somero análisis pueden surgir variables, generalmente favorables al agricultor, tal como la posibilidad de conseguir el material filtrante en el propio predio. Finalmente, es necesario tener en cuenta que el costo aparentemente elevado de adecuación de las tierras que están afectadas por problemas de drenaje (\$ 8.200,00/Ha), no lo es si se considera que el valor inicial es nulo. Además, como la duración mínima en servicio eficiente de este tipo de drenaje es de diez años, el costo por hectárea-año, en este ítem, sería de solamente \$ 820,00.

TABLA II

PROFUNDIDAD MEDIA DEL NIVEL FREÁTICO EN CONDICIONES INICIALES Y FINALES
Y DE LA CAPA IMPERMEABLE (m)

Pozo No	Nivel Freático Inicial	Nivel Freático Final	Incremento	Capa Impermeable
1	0,14	0,33	0,19	1,10
2	0,15	0,57	0,42	0,69
3	0,20	0,30	0,10	0,73
4	0,11	0,32	0,21	0,84
5	0,09	0,38	0,29	0,72
6	0,13	0,48	0,35	0,85
7	0,05	0,38	0,33	0,75
8	0,31	0,33	0,02	0,85
9	0,00	0,30	0,30	0,41
10	0,06	0,35	0,29	0,43
11	0,11	0,38	0,27	0,78
12	0,29	0,57	0,28	0,73
13	0,05	0,07	0,02	0,82
14	0,08	0,30	0,22	0,63
15	0,23	0,32	0,09	0,55
16	0,06	0,43	0,37	0,91
Promedio	0,128	0,363	0,234	0,737



FIGURA 7. Condiciones iniciales del lote

Foto : L.E. Delgado



FIGURA 8. Condiciones iniciales del lote. Obsérvese la baja germinación de la papa.

Foto : L.E. Delgado

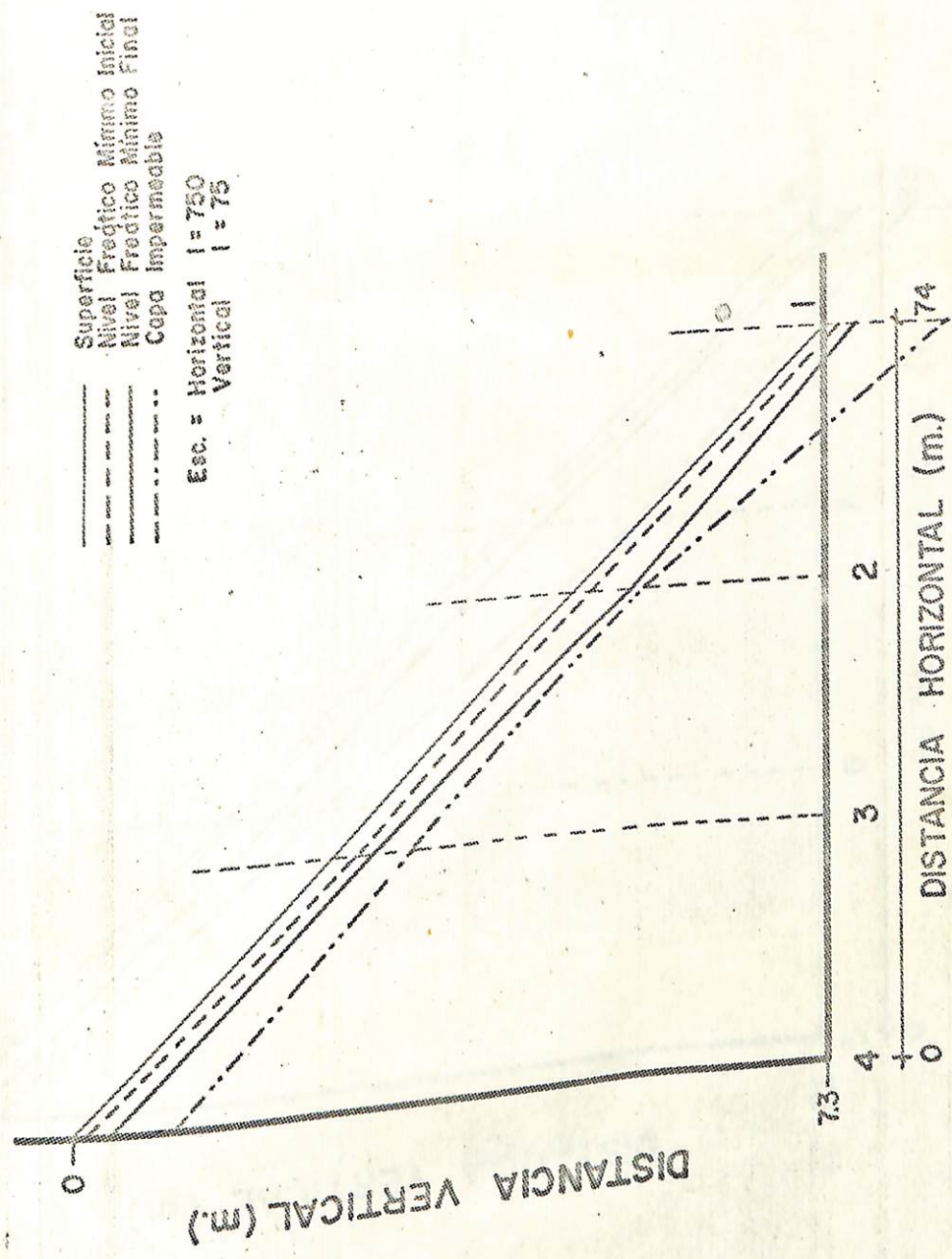


Fig.-9 -- Perfil freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de pozos de observación, Nos. 4, 3, 2, 1.

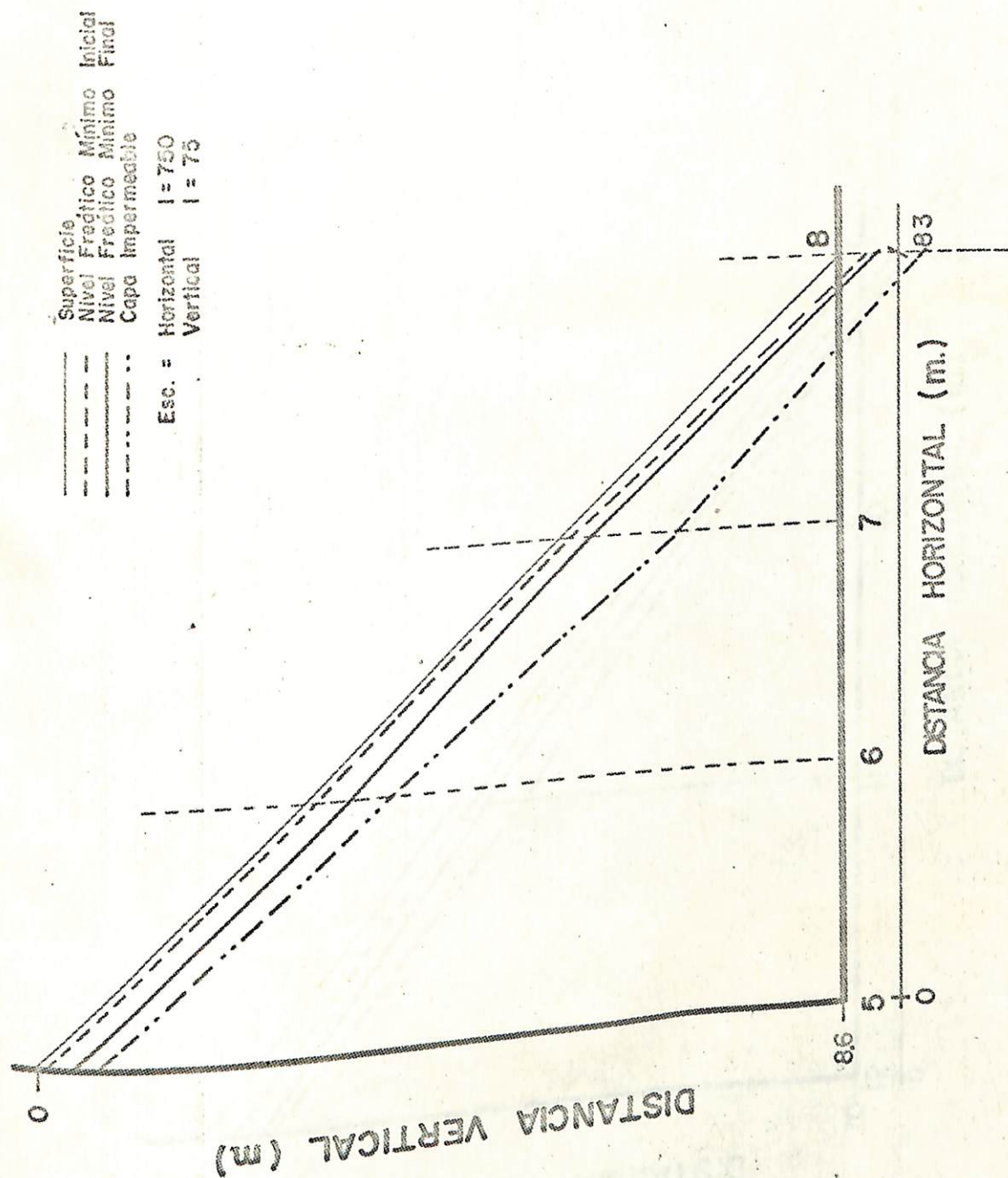


Fig.-10- Perfil freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de pozos de observación, Nos.5, 6, 7, 8.

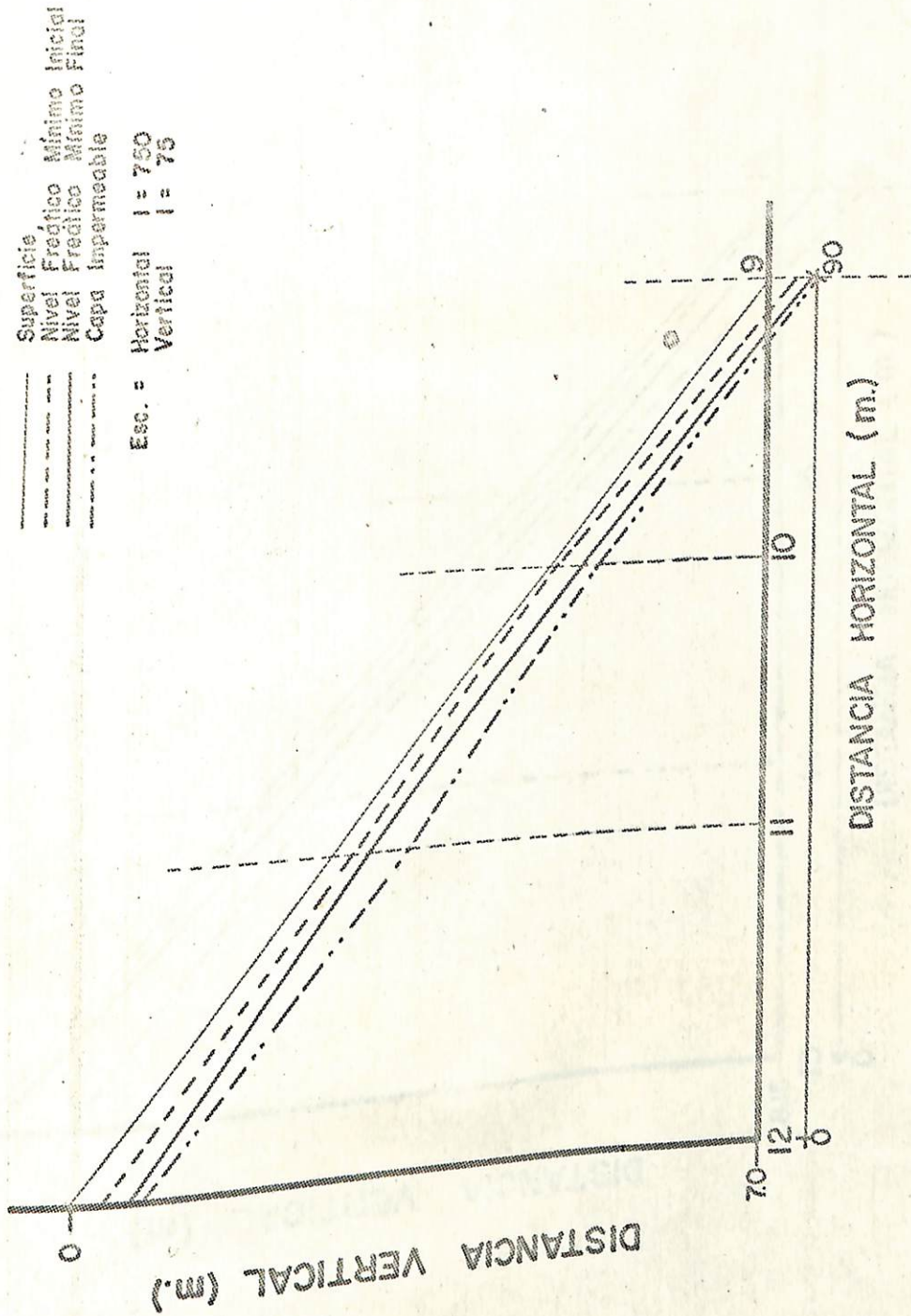


Fig. -11- Perfil freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de pozos de observación, Nos. 12, 11, 10, 9.

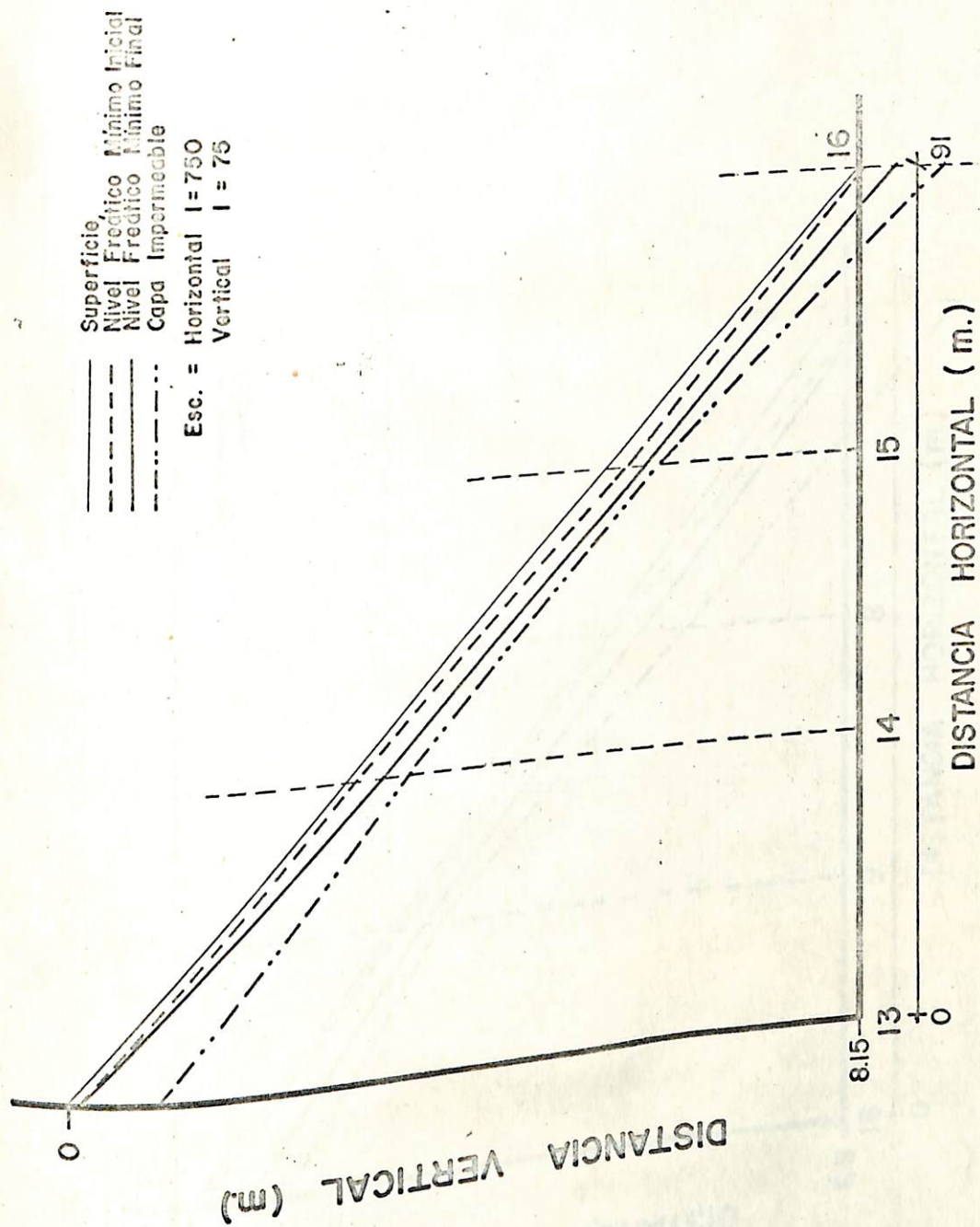


Fig.-12- Perfil freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de pozos de observación, Nos.13, 14, 15, 16.

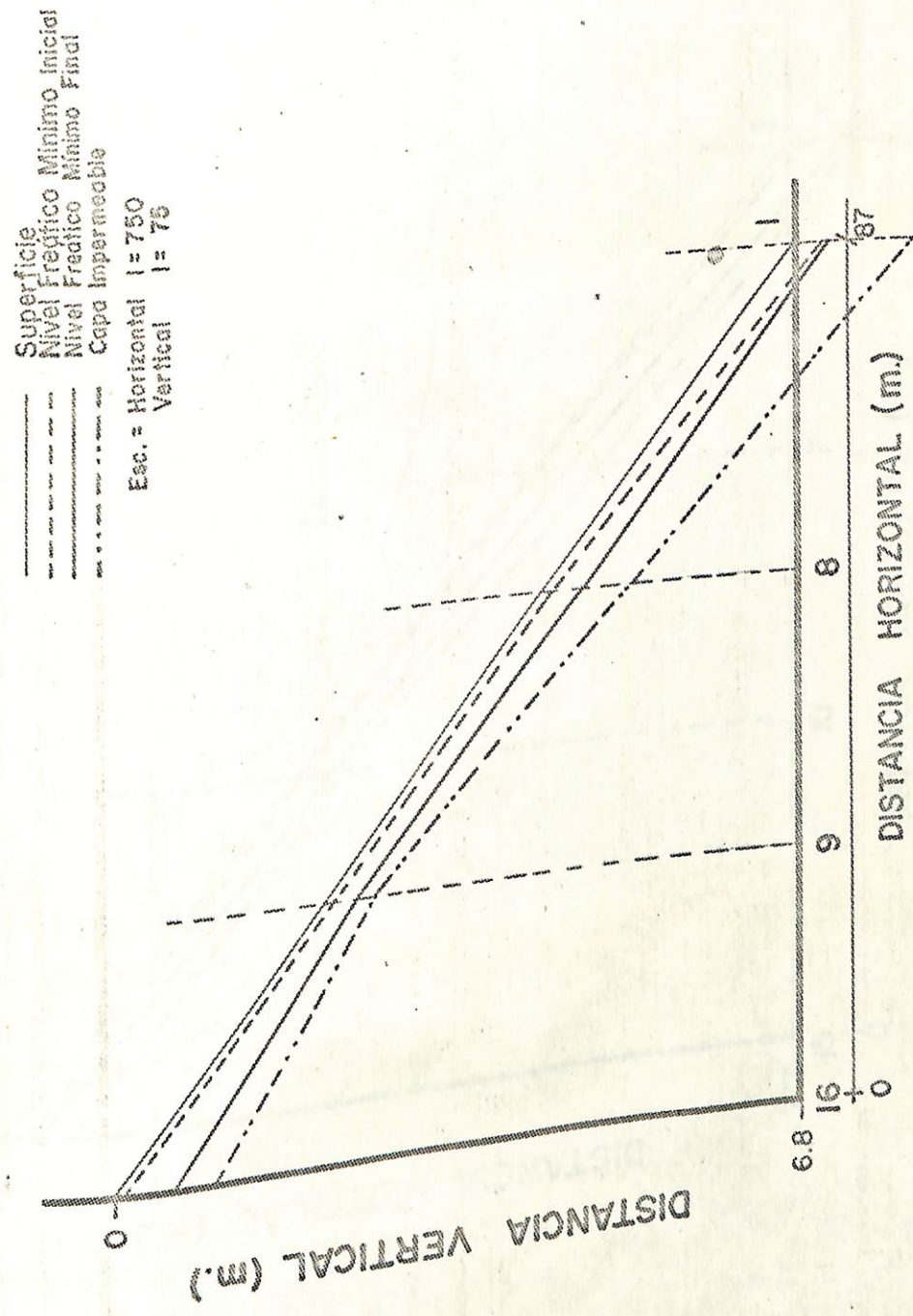


Fig.-13- Perfil freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de pozos de observación, Nos.16, 9, 8, 1.

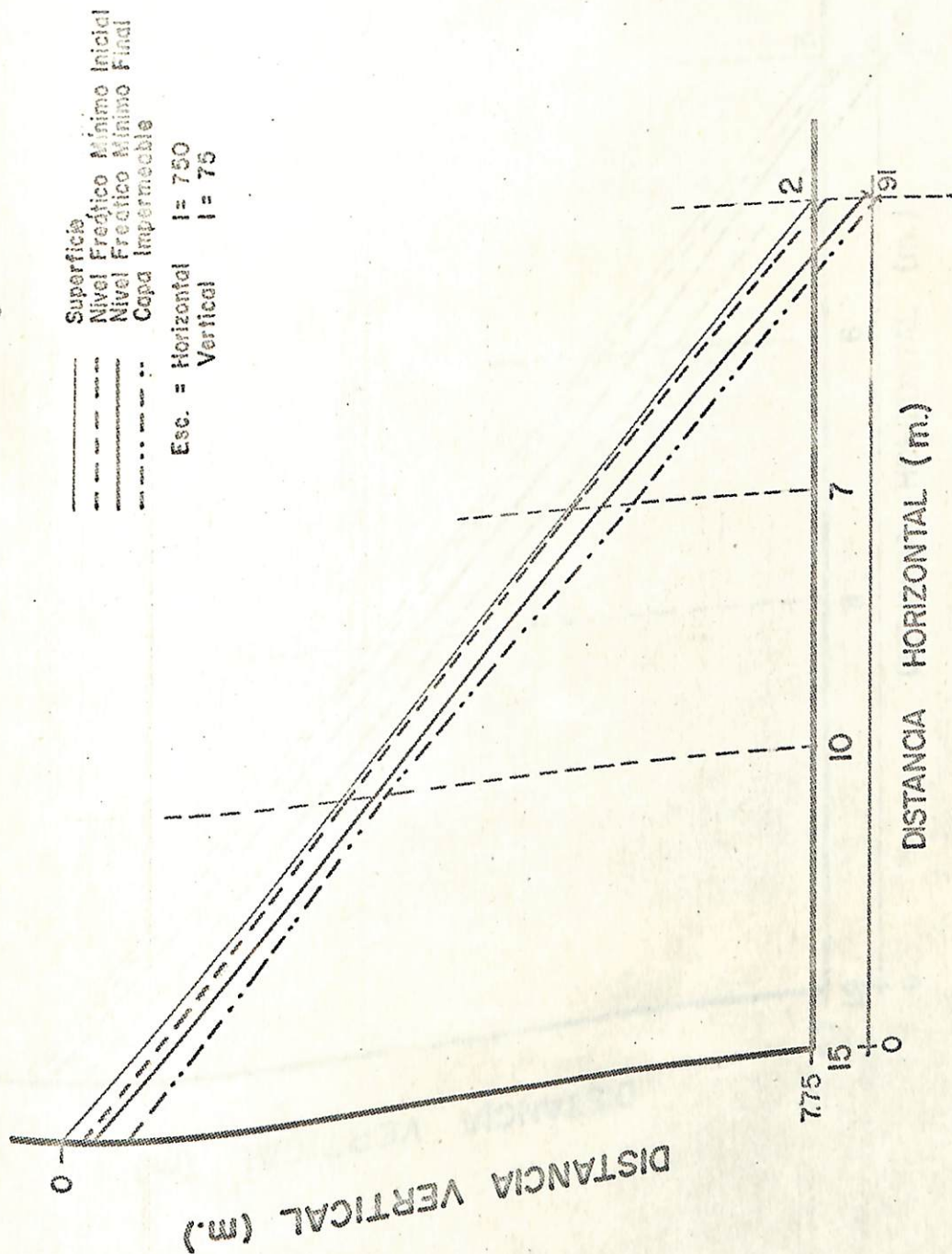


Fig.-14- Perfil freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de pozos de observación, Nos. 15, 10, 7, 2.

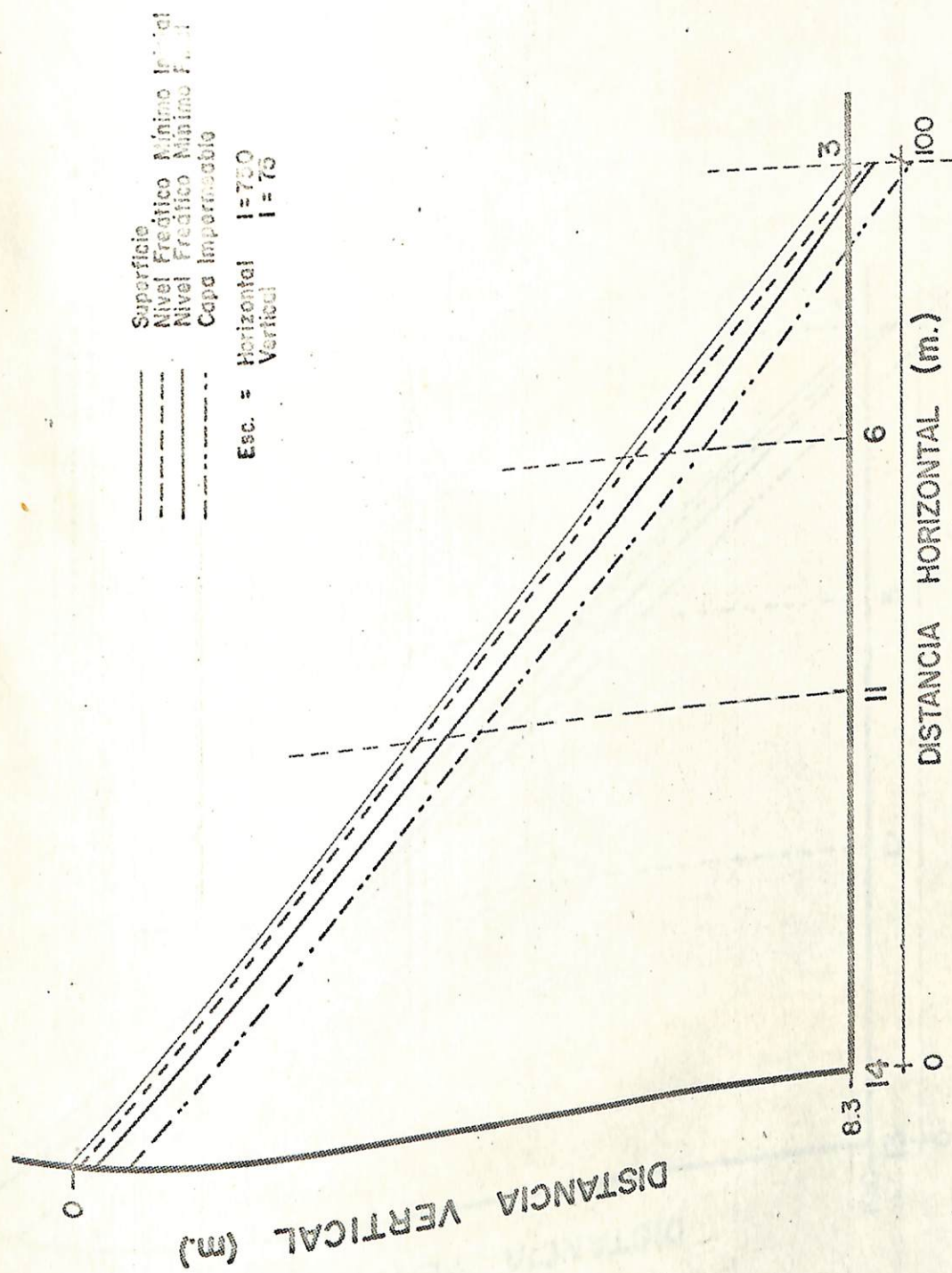


Fig. - 15 - Perfil freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de pozos de observación, Nos. 14, 11, 6, 3.

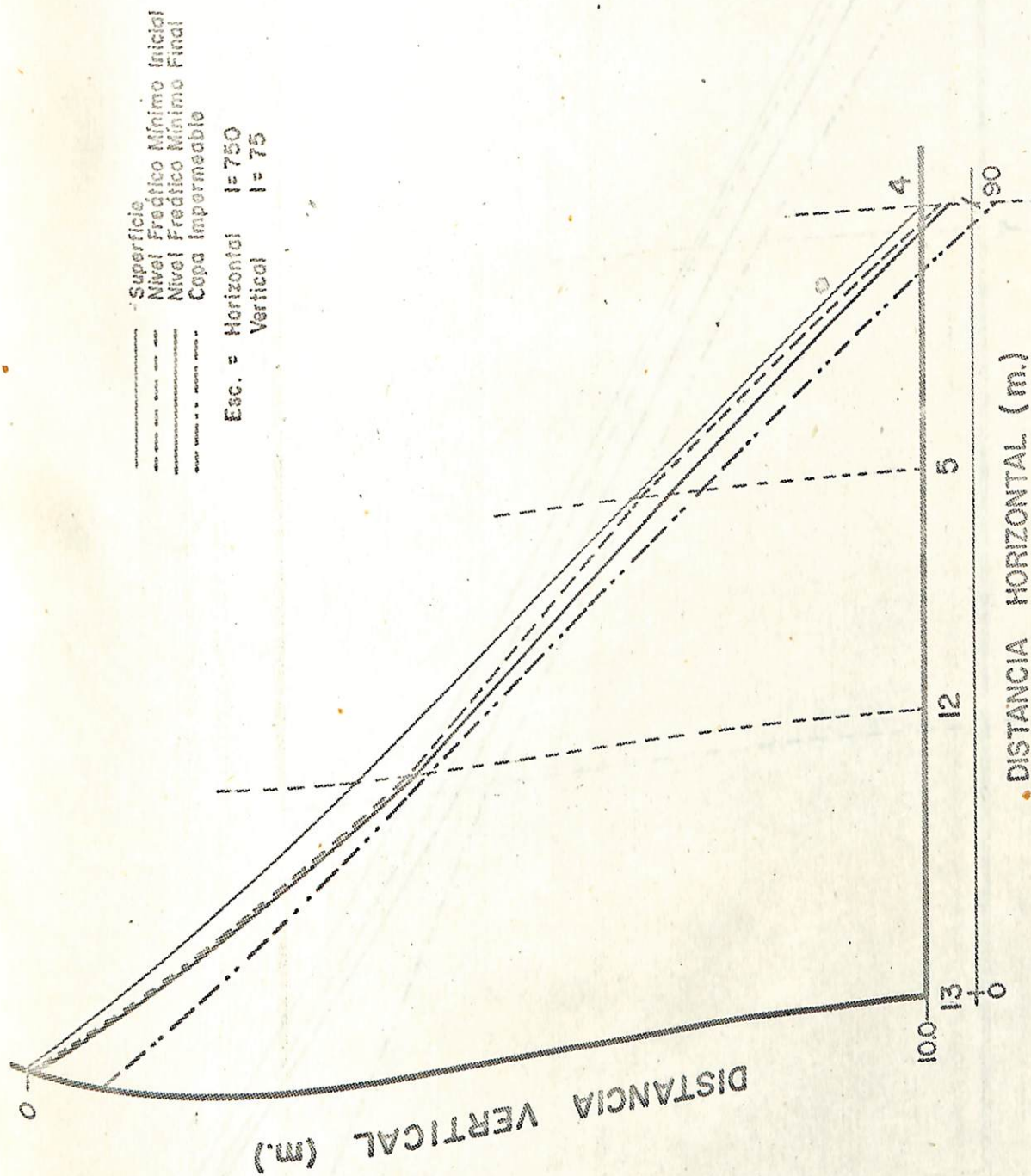
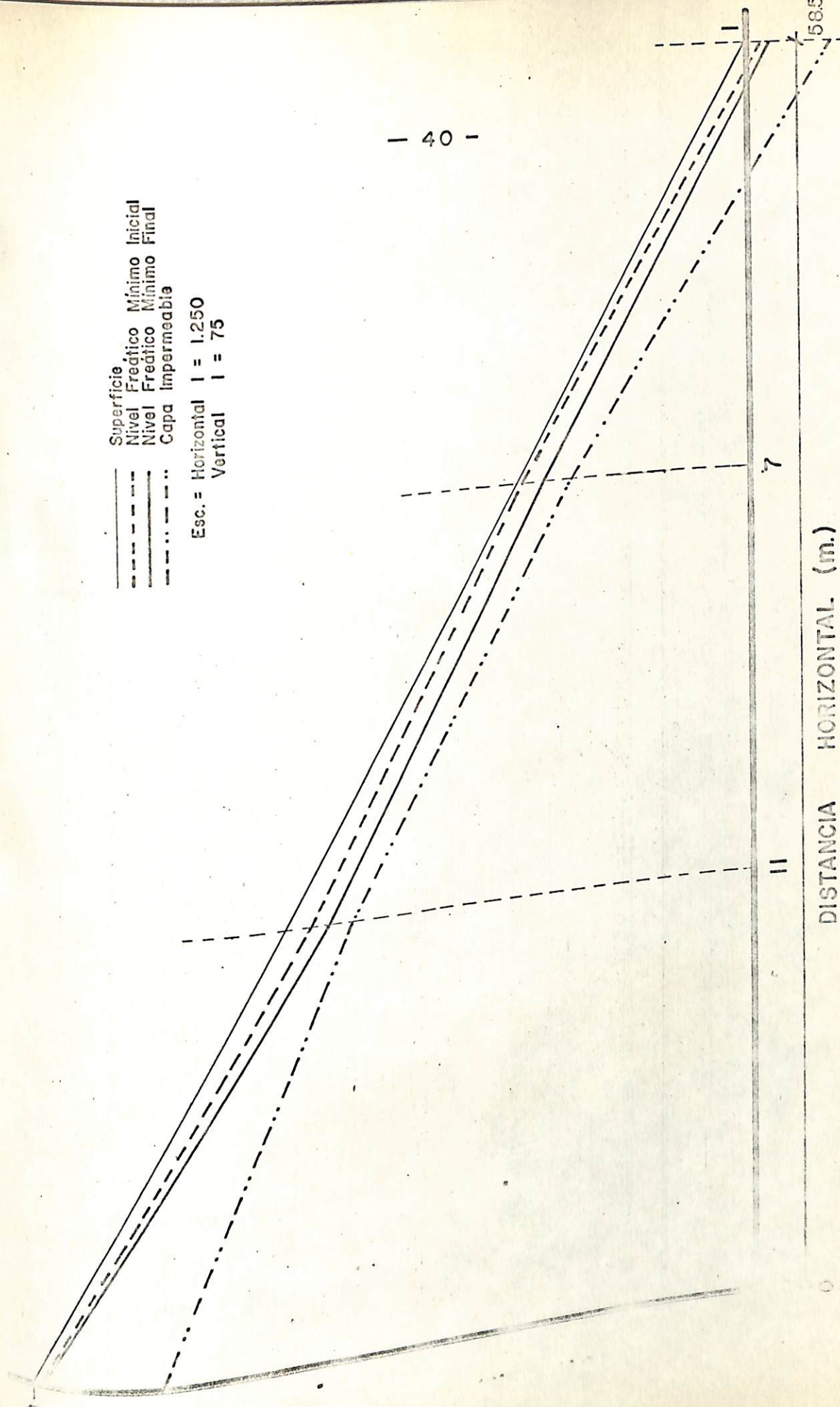


Fig. - 16 - Perfil freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de observación, nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836

Superficie
 Nivel Freático Mínimo Inicial
 Nivel Freático Mínimo Final
 Capa Impermeable

Esc. = Horizontal 1 = 1.250
 Vertical 1 = 75



DISTANCIA HORIZONTAL. (m.)

17.- Perfil freático mínimo inicial, mínimo final y profundidad de la capa impermeable en la línea de pozos de observación, Nos. 13, II, 7, I.

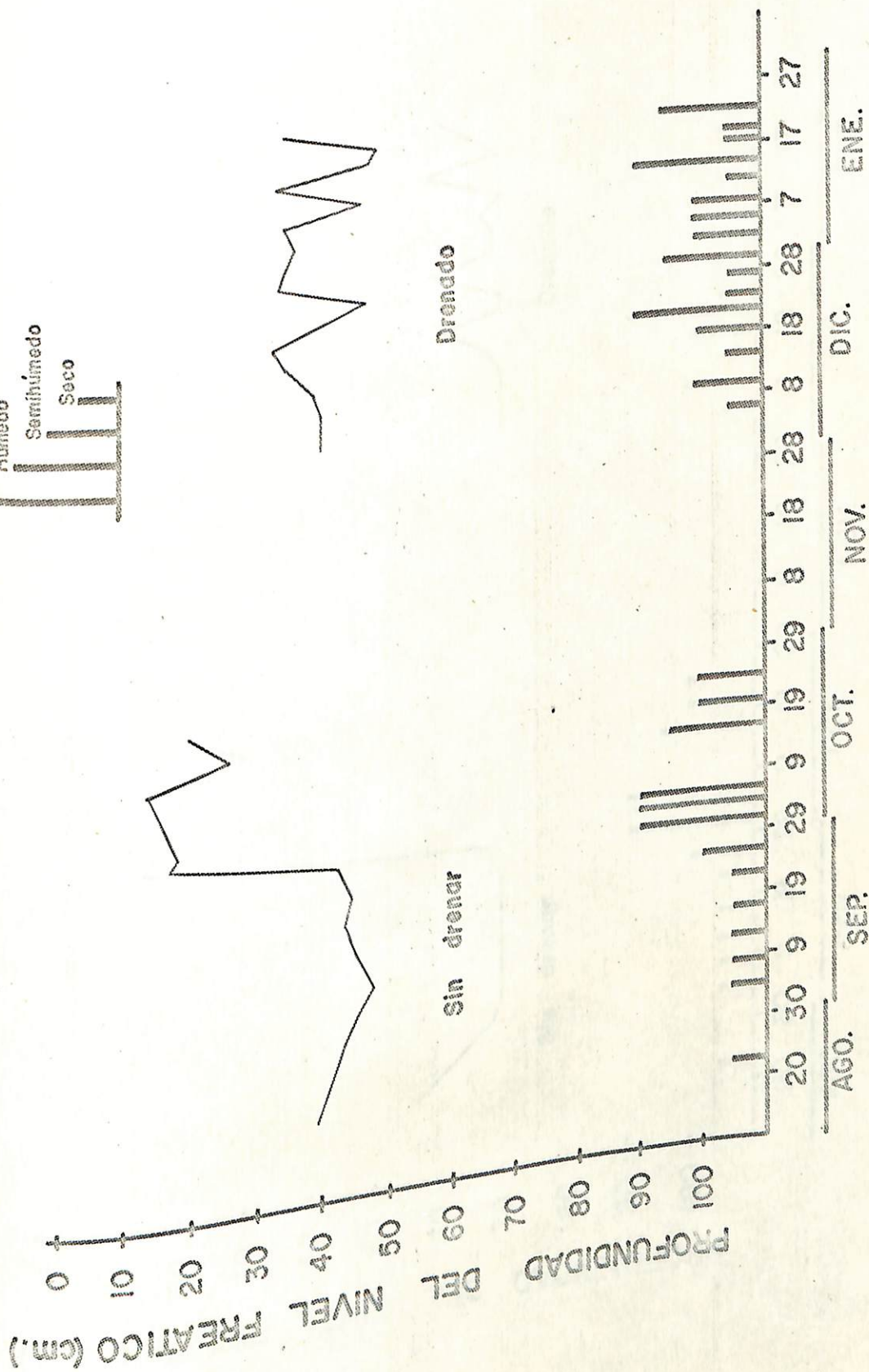


Fig. - 18- Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación N.º 1.

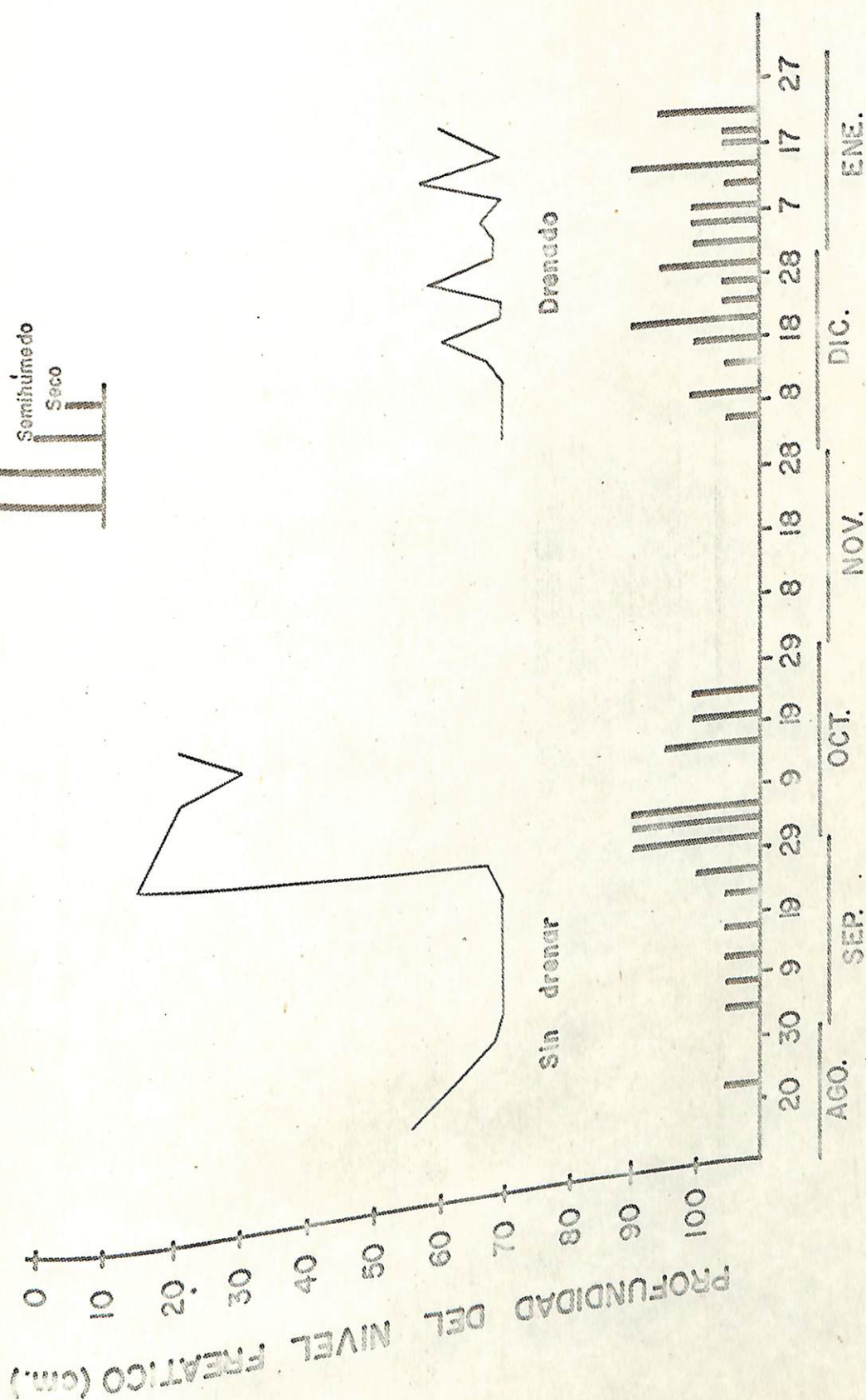


Fig. 19 - Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No 2.

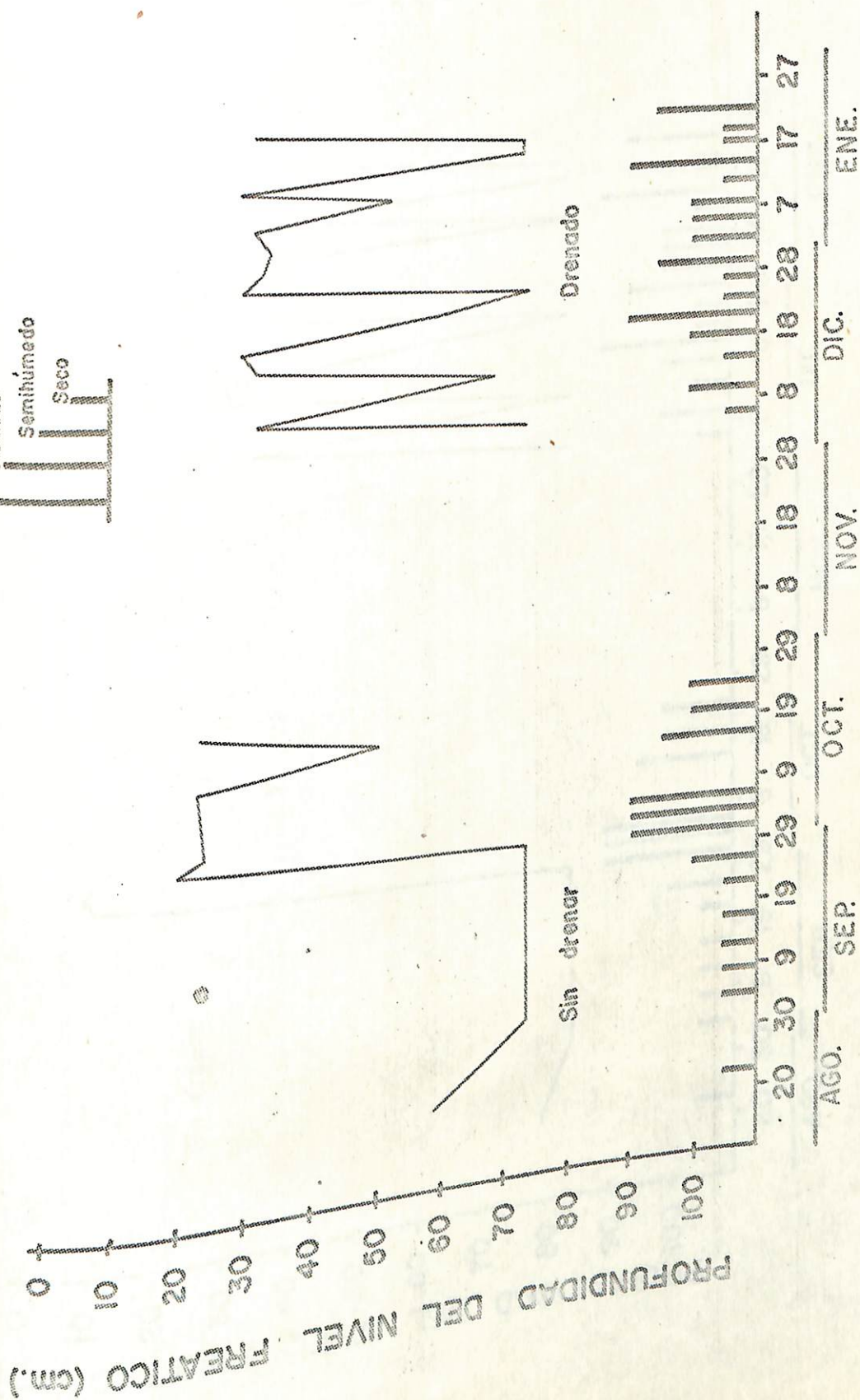


Fig.-20- Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación N° 3.

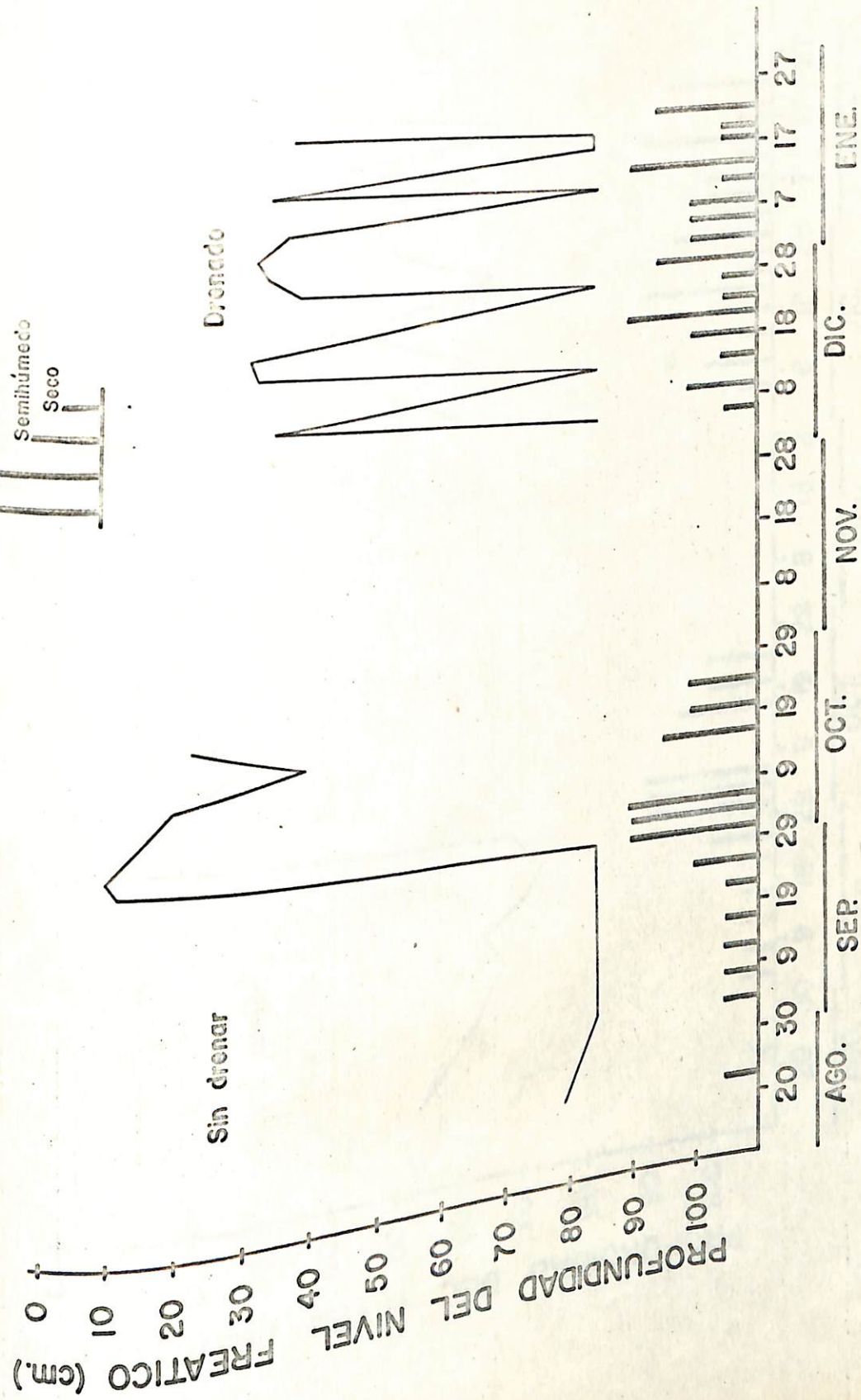


Fig.-21- Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación N.º 4.

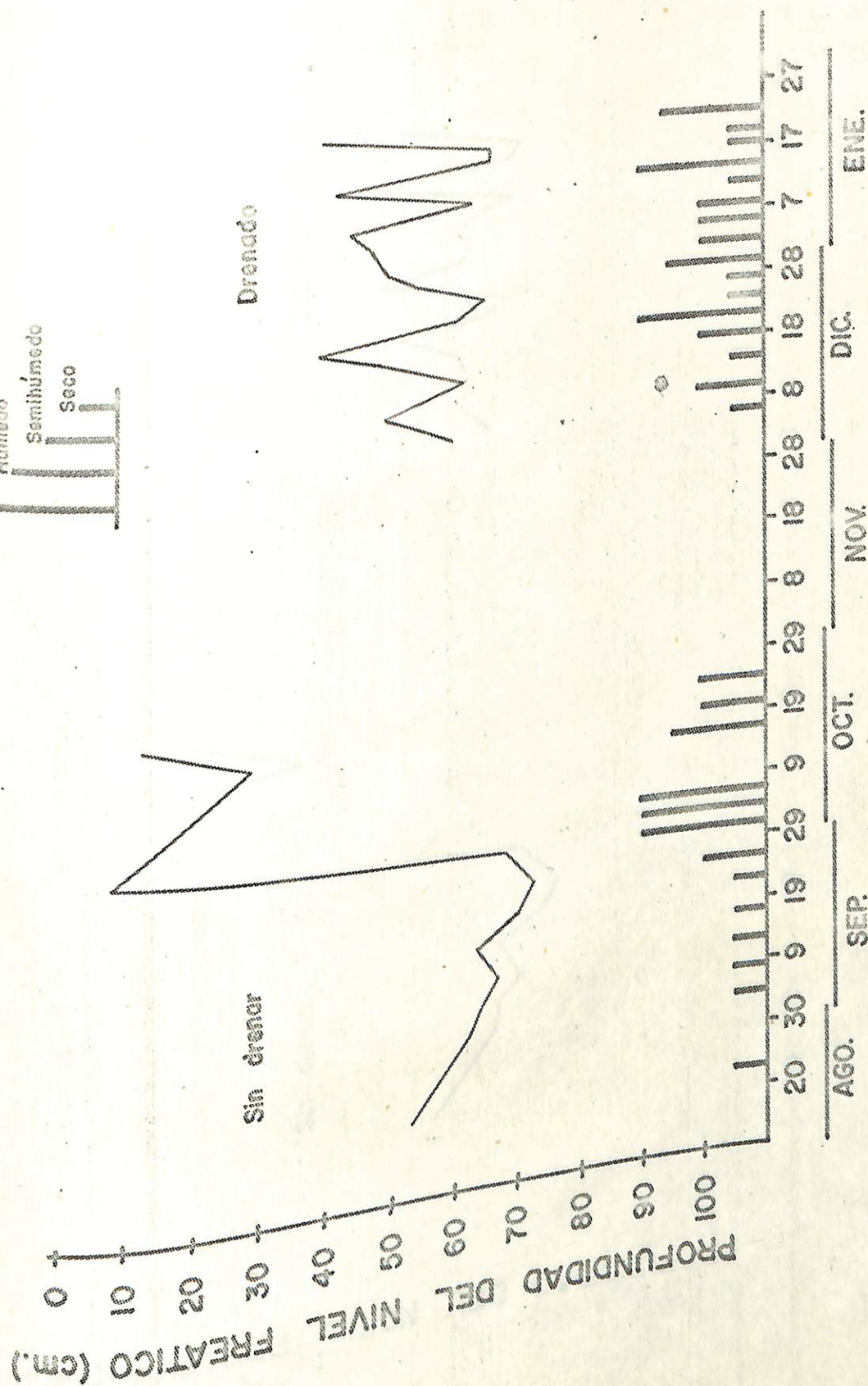


Fig.-22- Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación N° 5.

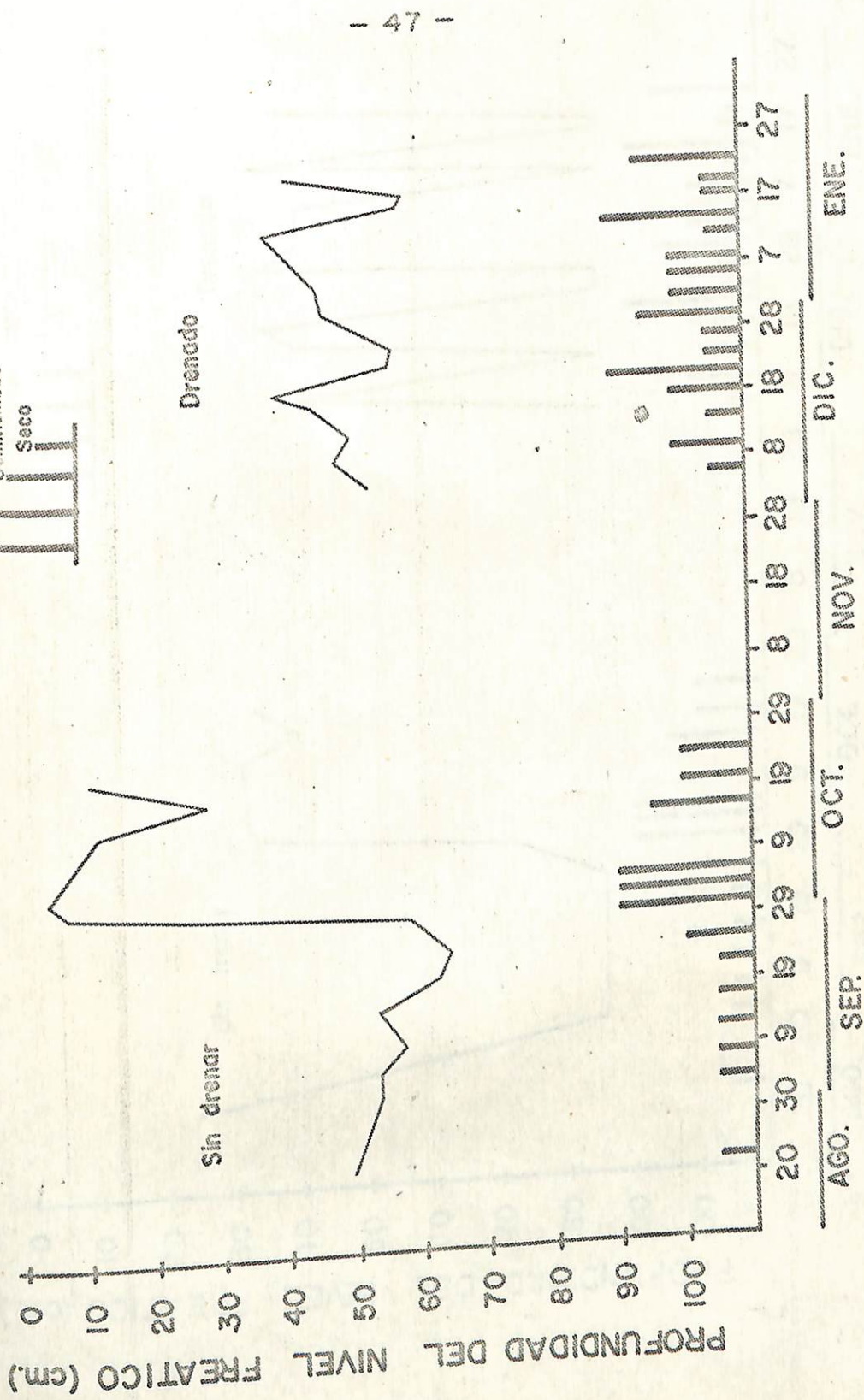


Fig.- 24- Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación Nº 7.

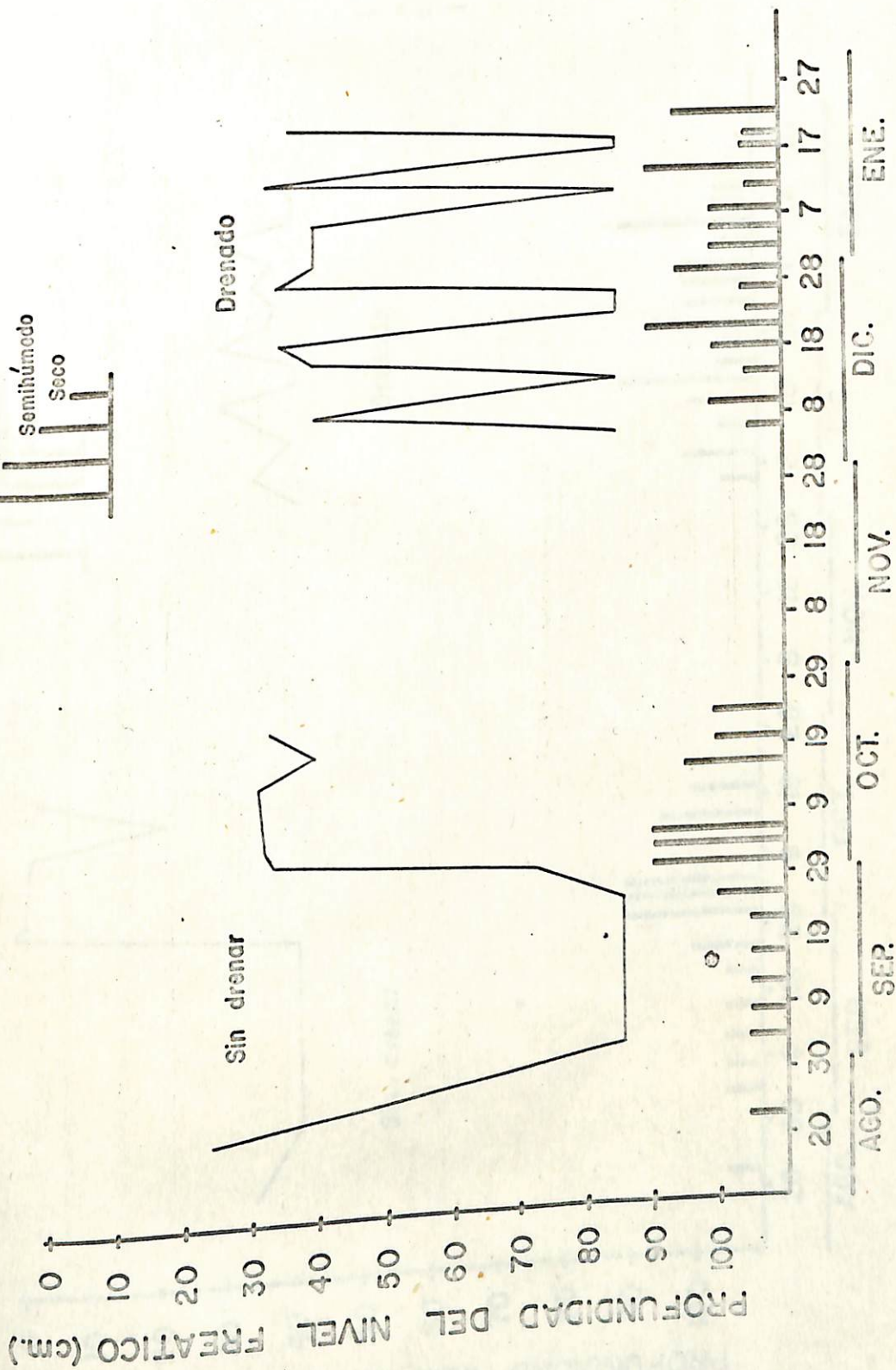


Fig. 25.-Variación de la profundidad del nivel freático en relación al tiempo en el pozo de observación N° 3.

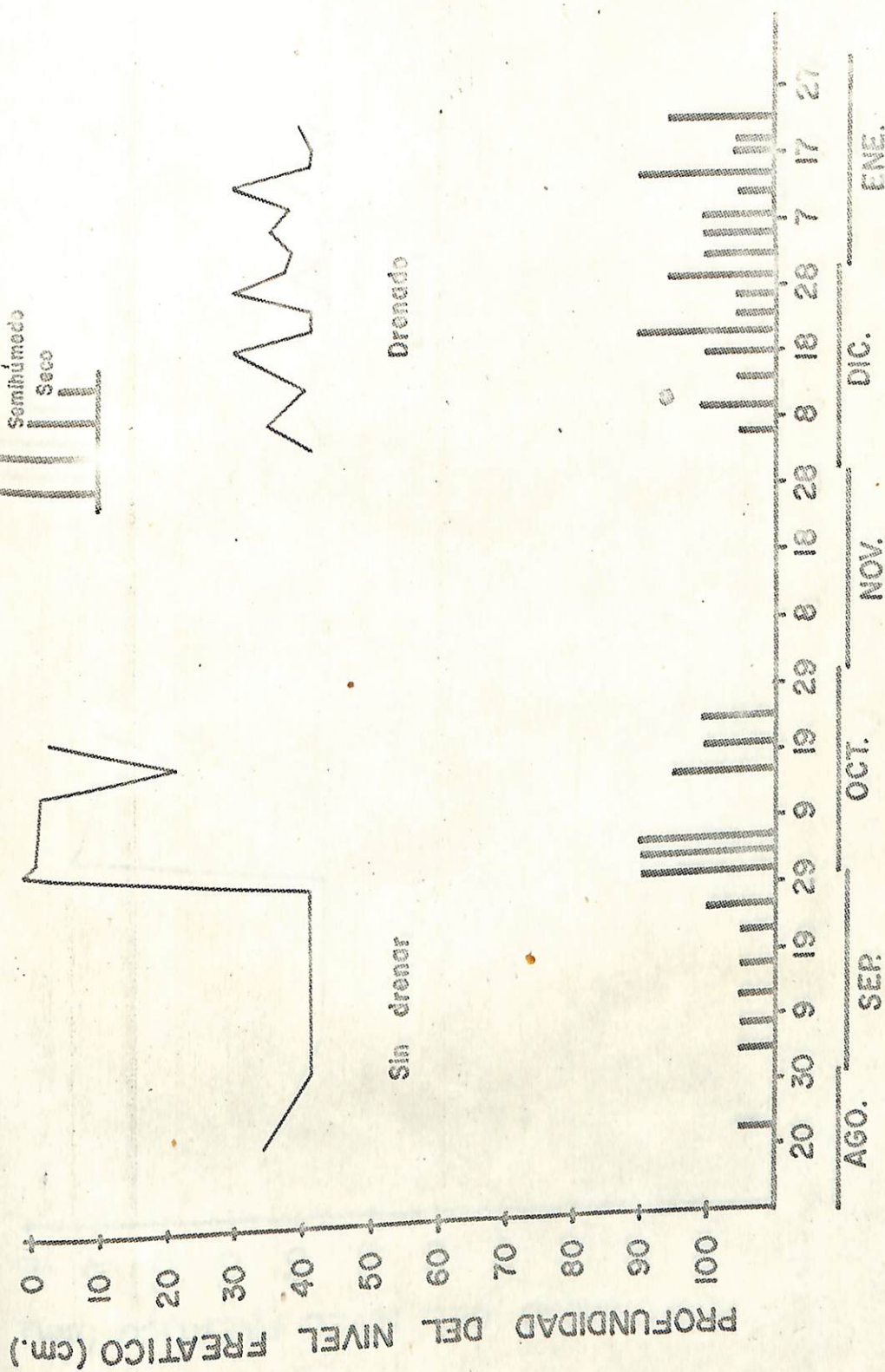


Fig. -26- Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación N° 9.

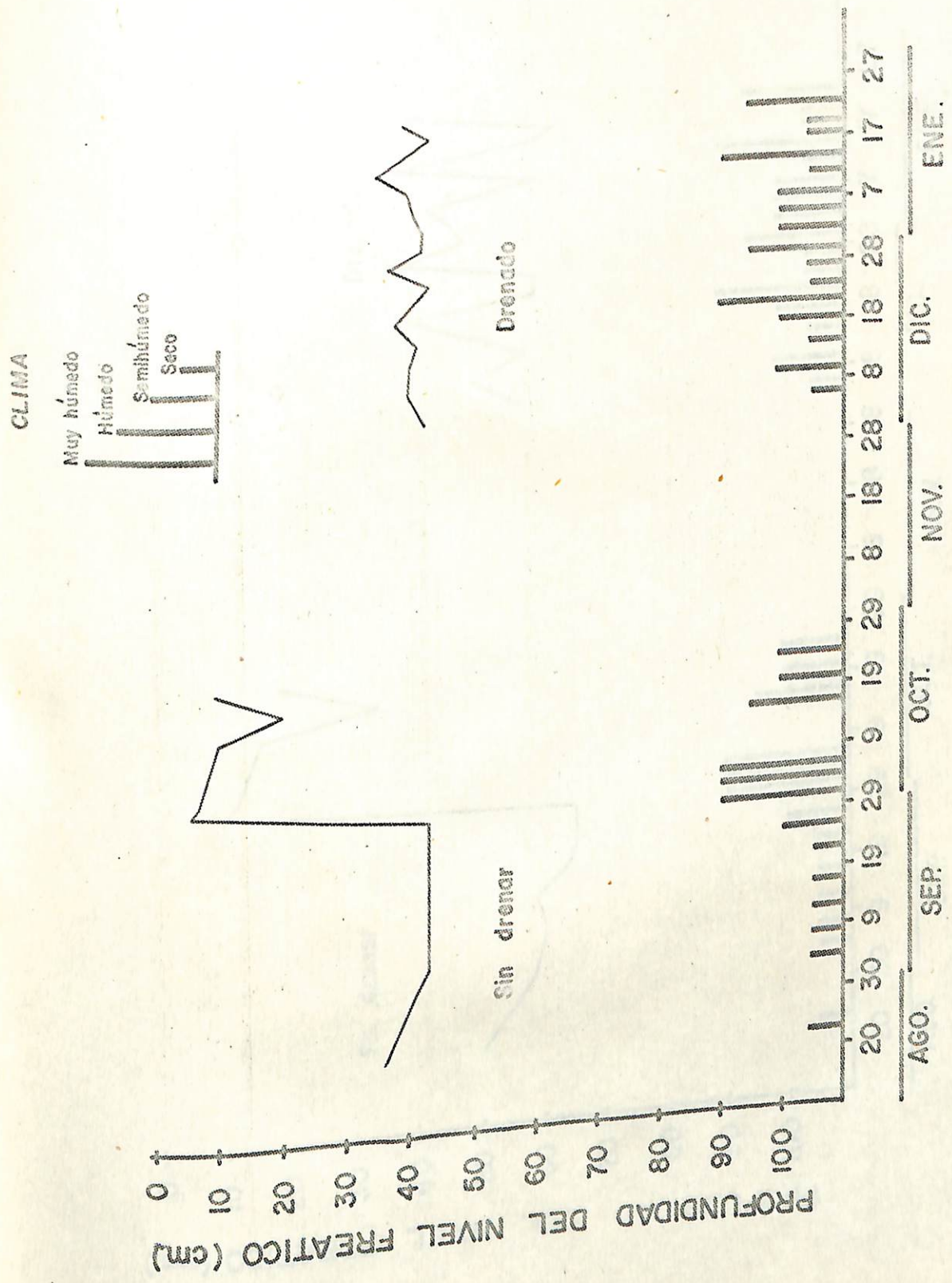


Fig.-27 - Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación N° 10.

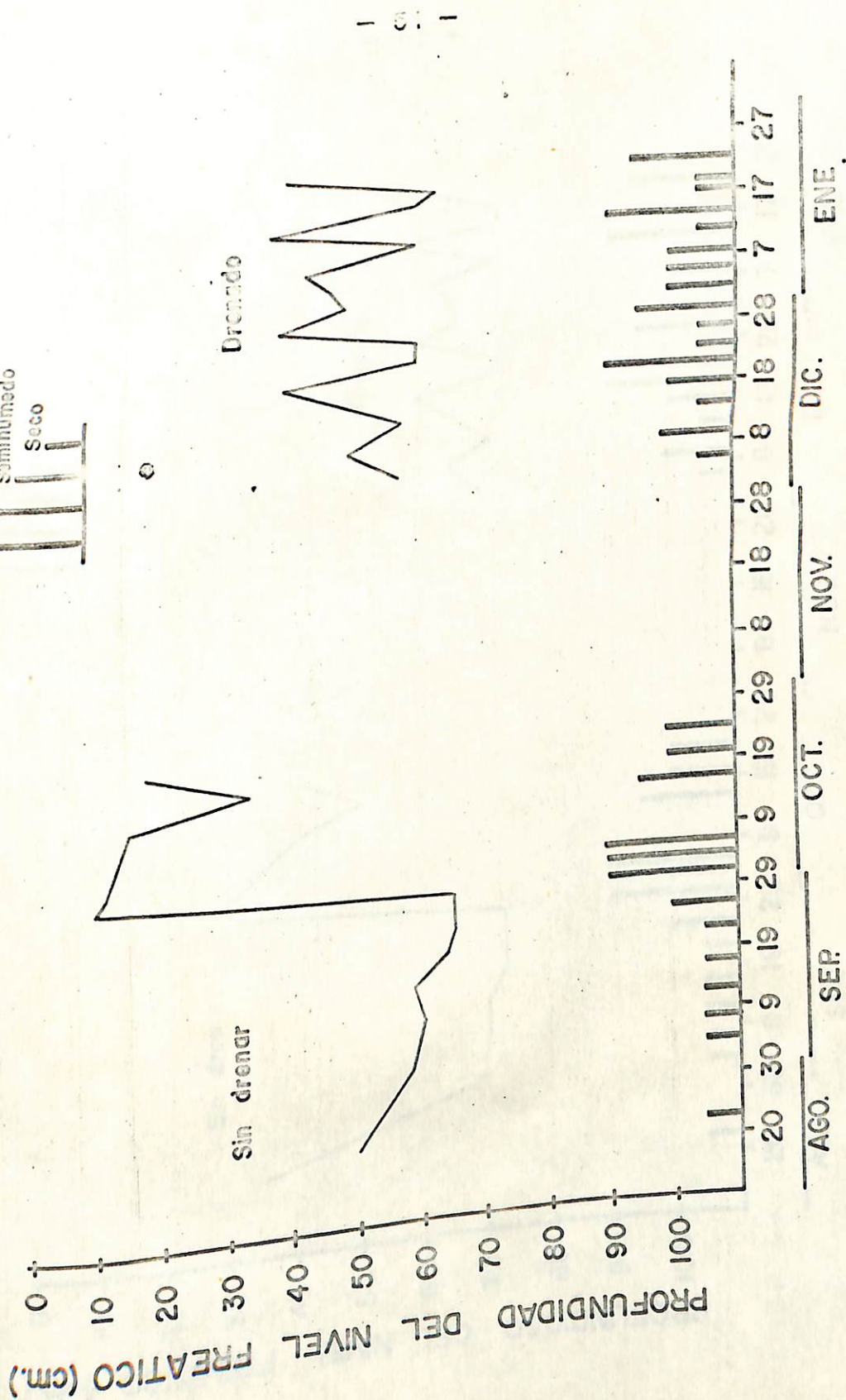


Fig. - 28 - Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación N° 11.

CLIMA

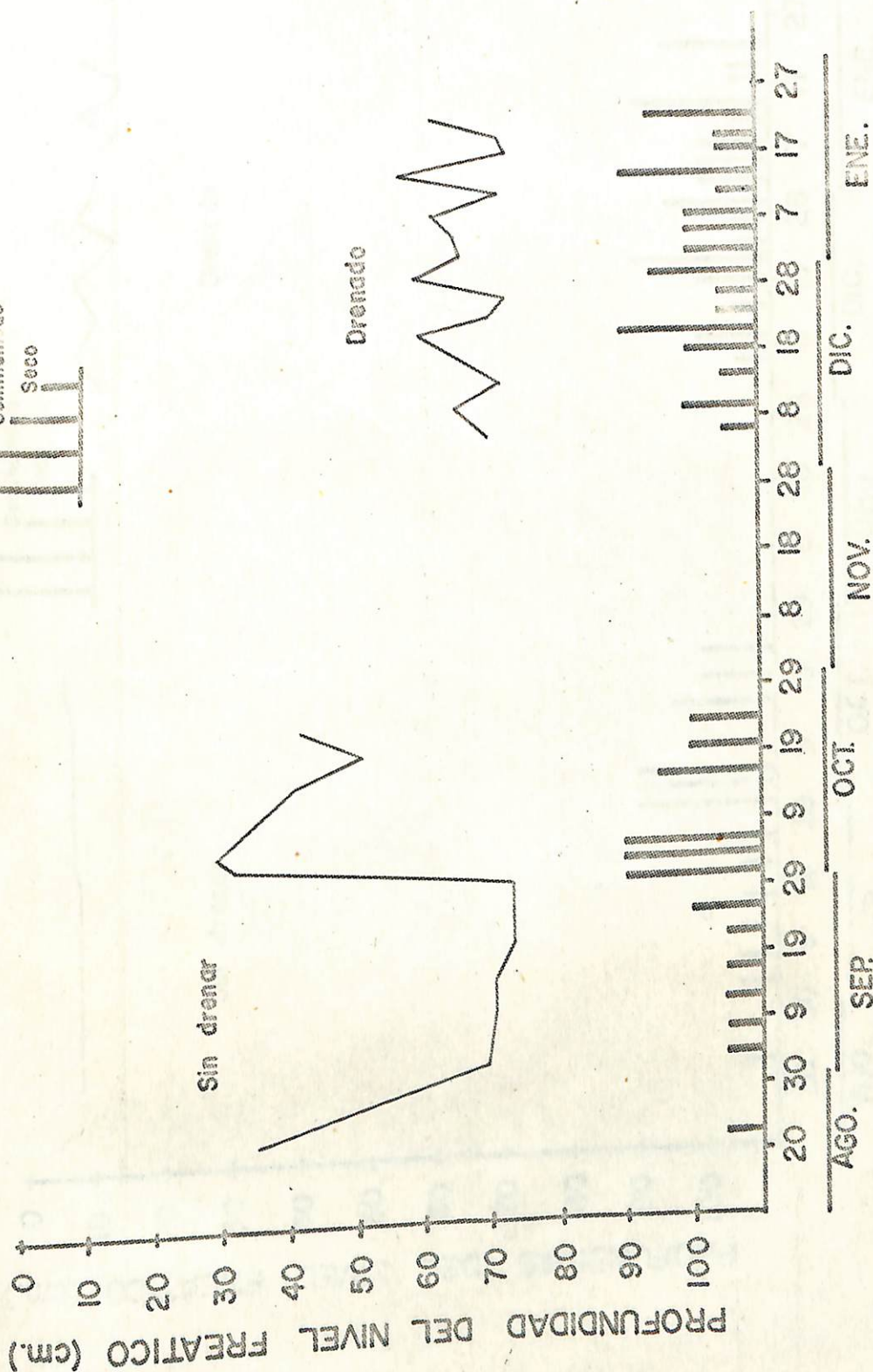
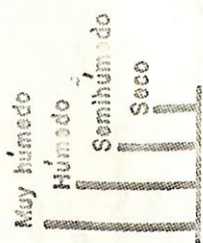


Fig.-29- Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación Nº 12

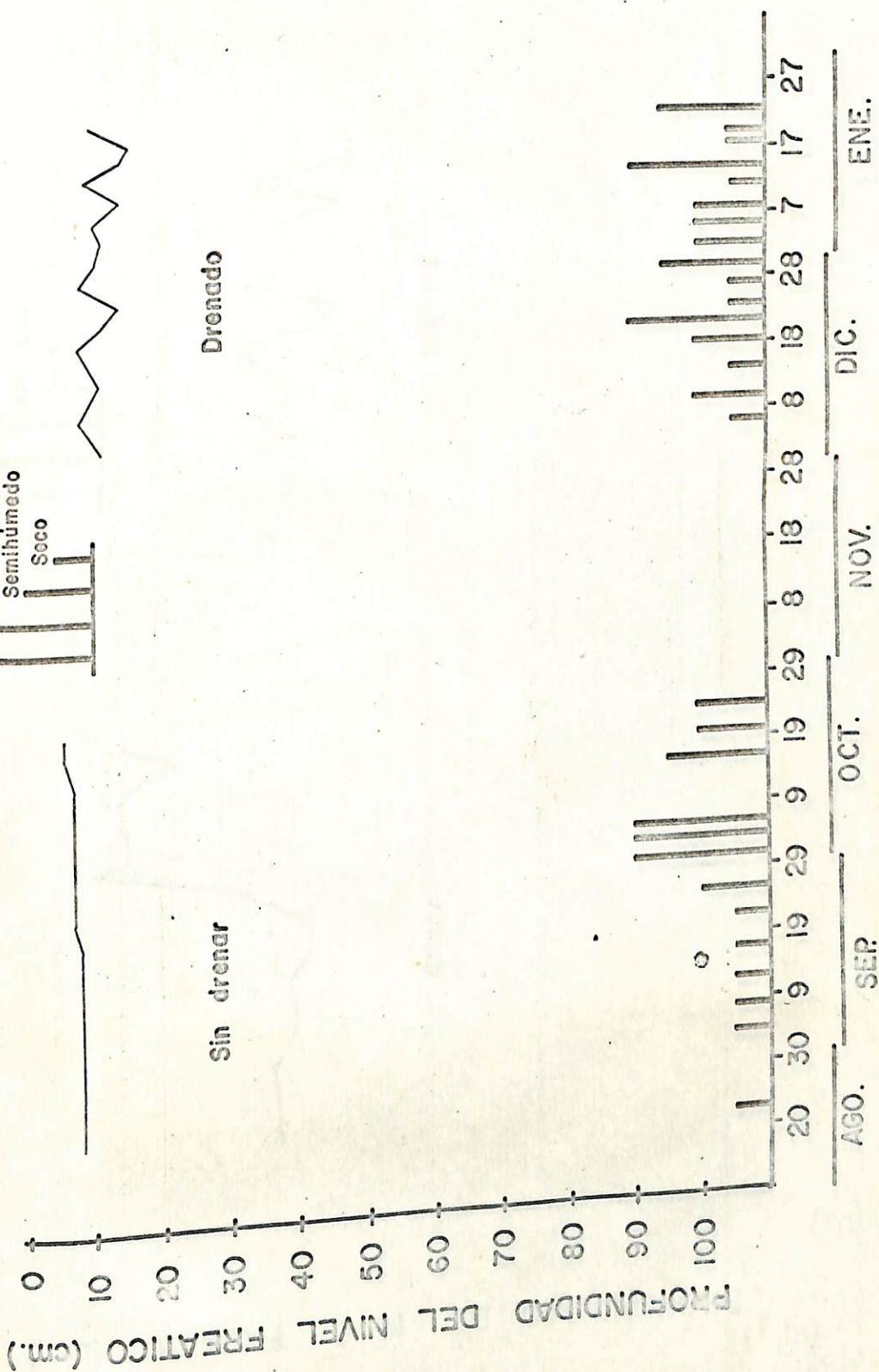


Fig. 30.-Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación N° 13

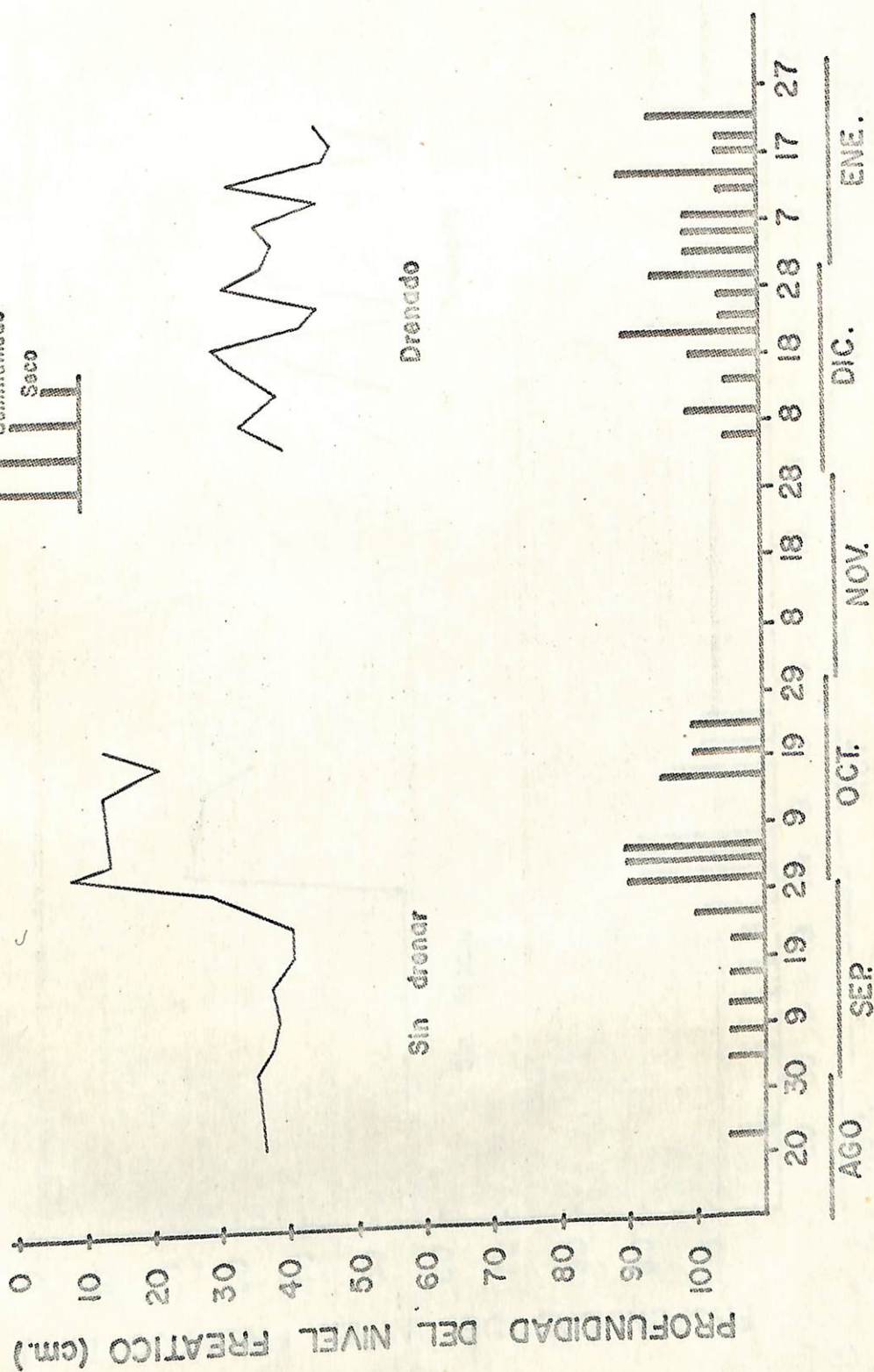
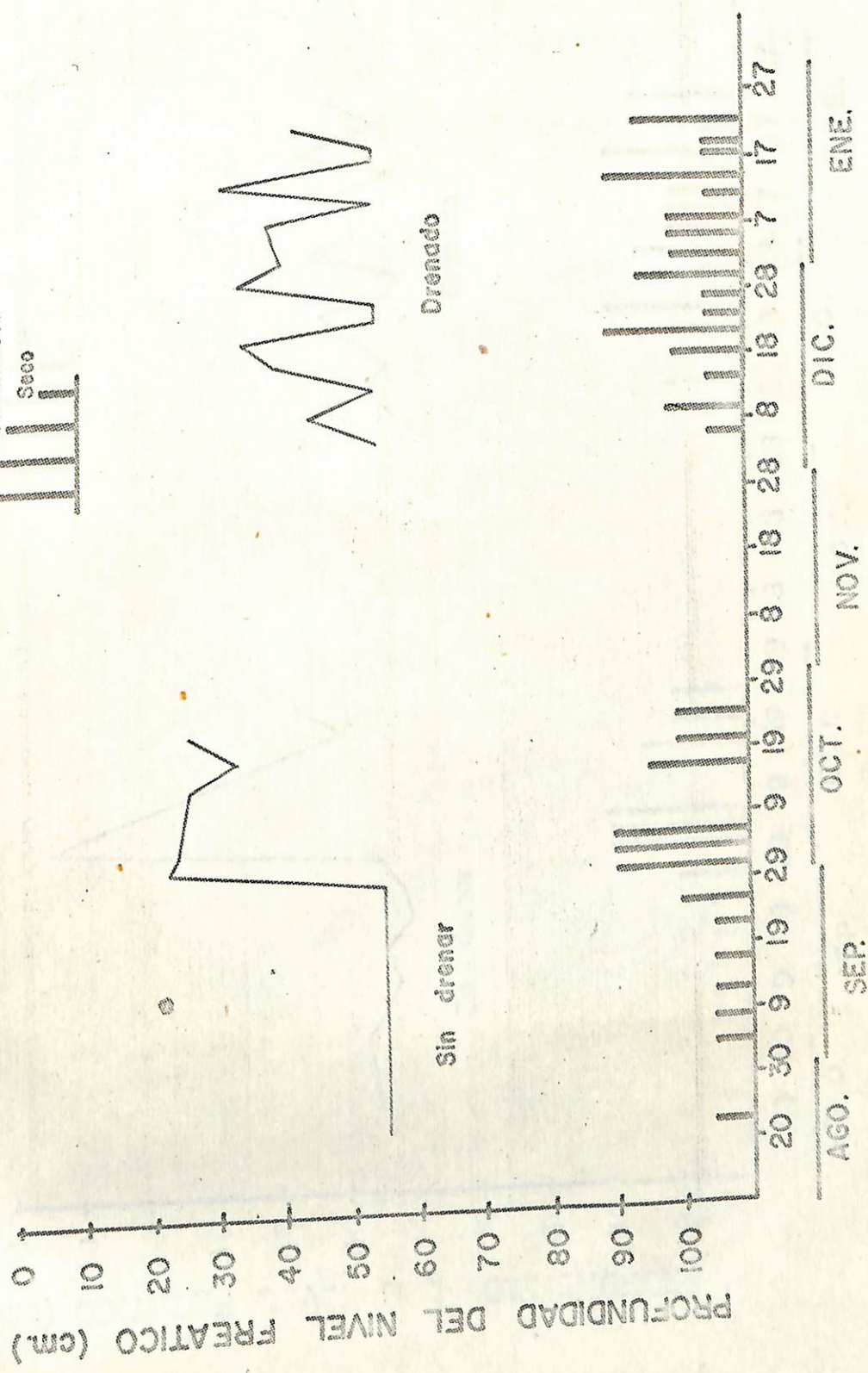
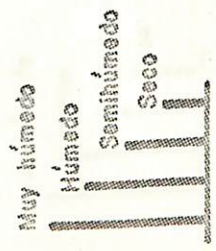


Fig. - 31 - Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación No 14.

CLIMA



-- 32 -- Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación N.º 15 .

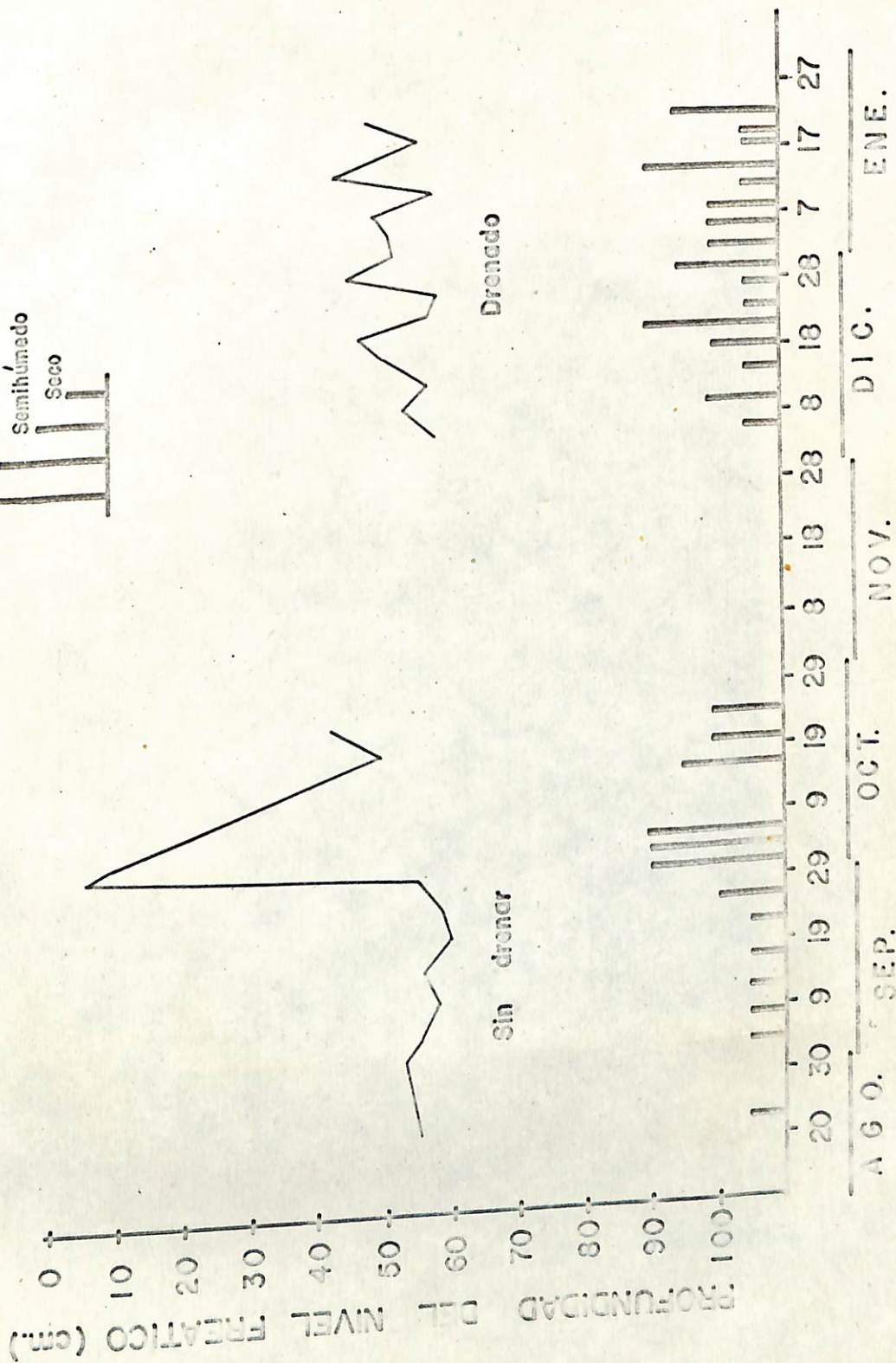


Fig. 30.- Variación de la profundidad del nivel freático con relación al tiempo en el pozo de observación N.º 13.



FIGURA 34. Erosión en los taludes de drenes internos abiertos

Foto : L.E. Delgado



FIGURA 35. Zanja perimetral abierta en
día de recarga pluviométrica L.E. Delgado

Foto : L.E. Delgado



FIGURA 36. Empalme entre una zanja perimetral y un dren colector sin cubrir

Foto : L.E. Delgado

Diagrama de distribución del sistema de drenaje construido

LEGENDA

COLECTORES

CANALES ABIERTOS (PERIMETRALES)

ESCALA

0 30 60 MTS

Elaborado por: Dpto. de Ingeniería

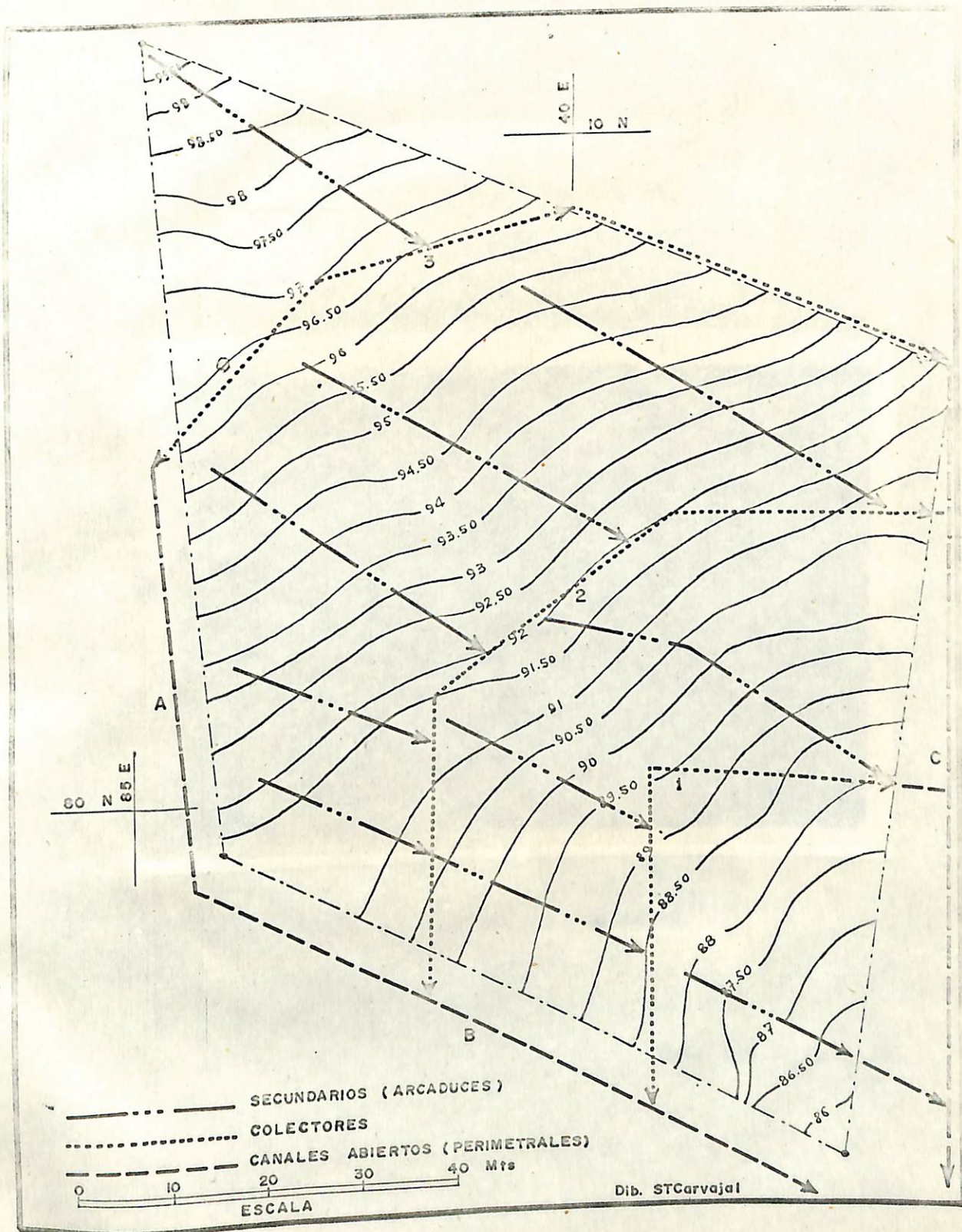


Fig. 37 DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE DRENAJE CONSTRUIDO



FIGURA 38. Excavación de un dren colector

Foto : L.E. Delgado



FIGURA 39. Colocación del material filtrante, la paja y la tierra en un dren cerrado

Foto : L.E. Delgado

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

1. Cuando el nivel freático coincide con superficial, el plan de drenaje (además de proporcionar agua a las plantas) el diseño de drenaje.

2. La gran cantidad de agua que se acumula en el suelo, debido a una vez el agua que se acumula en el suelo.



FIGURA 40. Aspecto final del lote drenado. Obsérvese el efecto del drenaje sobre las condiciones del suelo.

Foto : L.E. Delgado

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

1. Cuando el nivel freático mínimo está superficial, el plano de líneas isóbatas no representa ayuda alguna para el diseño de drenaje.
2. La muy baja conductividad hidráulica del suelo, obligó a reducir el espaciamiento entre los drenes.
3. El empleo de piedra (rañón) en los canales como material filtrante reemplazó eficientemente la tubería de drenaje que es mucho más costosa.
4. El uso de zanjas perimetrales abiertas evitó el aporte de agua de los terrenos vecinos.
5. La red de drenaje mixto produjo un incremento en el descenso del nivel freático crítico de 0,234 m, con lo cual la profundidad promedio de aquel en esas condiciones fue de 0,363 m con un mínimo de 0,30 m en dos pozos.
6. El tiempo de descarga, a través del sistema de drenajes se redujo a un máximo de dos días, a partir de los niveles freáticos mínimos.
7. Se encontró una estrecha relación, tanto en condiciones iniciales como finales, entre la fluctuación del nivel freático y la precipitación pluvial. El nivel freático ascendió en los días de mayor recarga.
8. El costo de adecuación de los terrenos de la región de características similares y con este sistema de drenaje se estimó en \$ 8.200,00/ha. El valor promedio de los estudios completos y el diseño del sistema de drenaje alcanza un promedio de \$ 500,00/ha.

9. Como resultado del drenaje, la germinación de la papa se incrementó de 9% al 93%, entre la primera y segunda siembras.

5.2 Recomendaciones

1. En consideración a la importancia que tienen los suelos para el agricultor, lo que se manifiesta por su reducido espacio disponible, se recomienda el establecimiento de un programa integral de extensión que promueva la adaptación de estos trabajos para lograr un mayor y mejor aprovechamiento de las tierras.

2. Que la Universidad por cualquier medio realice la adecuación de los diferentes lotes que posee en condiciones de inundación en la Granja Experimental Betana, puesto que con ello se lograría un pleno aprovechamiento con un mínimo de riesgos.

3. Se recomienda la ampliación y tecnificación de estos estudios a otras regiones del Departamento, cuyas características pueden ser similares al sitio de estudio.

4. Se recomienda la construcción de los drenajes subterráneos dentro del lote; así se evita la erosión, la mala utilización del terreno y además, a la larga existe una mayor economía.

5. Debe investigarse sobre el tipo de material filtrante, para adaptar uno que no incremente en tan alto grado el costo de adecuación.

VI. RESUMEN

El presente trabajo se realizó entre Marzo de 1974 y Enero de 1975 y su principal objetivo fue construir un sistema de drenaje a nivel parcelario, para adecuar un lote de 6.438 m^2 de la Granja Experimental Botana, Universidad de Narino, situada en el Municipio de Pasto.

Inicialmente se hizo el levantamiento topográfico con curvas de nivel a 0,50 m y pendientes longitudinales y transversales. Además, se instaló una batería de 16 pozos de observación, en los cuales se tomaron lecturas en dos épocas. La segunda sirvió para verificar los resultados de la obra, determinando las alturas del nivel freático.

Para el diseño de los drenes se tuvo en cuenta los siguientes criterios: plano topográfico, dirección del flujo (líneas isohipsas), perfiles freáticos, la conductividad hidráulica y los costos.

El sistema de drenaje construido fue del tipo mixto, ya que se trazaron zanjas perimetrales abiertas (3) y dentro del terreno drenes cerrados con distribución asimétrica. Estos drenes cerrados fueron colectores (3) y secundarios (10) y sus dimensiones de 0,25 m de ancho por 0,60 m de profundidad. En el fondo se colocó una capa de 0,20 m de piedra que funciona como filtro, a continuación se agregó una capa de paja de aproximadamente 0,08 m de espesor; con la misma tierra excavada se cubrieron los drenes.

Con la red de drenes se logró un incremento en la profundidad promedio del nivel freático, en época de máxima precipitación, de 0,234 m, con lo cual aquel en condiciones críticas tiene una profundidad mínima de 0,363 m, se exceptúan de este promedio dos pozos cuya profundidad mínima fue de 0,30 m y el pozo No. 13, sitio en el cual se presenta un afloramiento.

El costo real total de adecuación de terrenos de la región y con las características del suelo del estudiado, es de \$ 8.200,00/ha. Los estudios y diseño del drenaje pueden valorarse en \$ 500,00/ha.

SUMMARY

This work was made from March 1974 to January 1975 and its main objective was build a drainage system for small areas, in order to adequate a 6.483 m^2 field in Botana, an agricultural experimental station of the University of Meriño.

A survey raise was first made with level curves at 0,5 m and longitudinal and transverse slopes. Furthermore, it was placed a battery set with 16 observation wells, in wich several readings were taken in two different times. The second one helped to verify the work results determinating the deep of the water table.

For the drain design was necessary to know the topographic plane, the flow direction (isohipses lines), the hydraulic conductivity, the water profiles and the costs.

Since there were perimetral opened ditches (3), and inside the field there were also closed drains, the built drainage system had to be of "the mixed type". The unsymmetrical closed drains were collectors (3) and secondary (10) and their dimensions were : 0,25 m wide and 0,60 m deep. A layer (0,20 m) of stones was placed in the bottom wich served as a filter; over it, was placed a bed of straws (0,08 m) and finally the drains were covered with the same excavated soil.

The drains caused an increase in average water table depth of 0,234 m, during days of maximum rain, and an average depth of 0,363 m during water table critical conditions. Two of the wells with a minimum depth of 0,30 m and # 13, where an inflow was present, are included from this average value.

The total and actual cost for the reclamation of lands in the region and in soils with similar characteristic of the studied one, is \$ 8.200 colombian pesos per hectare. The studies and design of drainages may have an average cost of \$ 500 per hectare.

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, A. Diseño de sistemas de drenaje. Pasto, Universidad de Nariño, 1974. 53 p. (Departamento de Ingeniería No. 2).
3. CASTILLO, S. Determinación de la conductividad hidráulica en tres suelos del Altiplano de Pasto. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1974. 67 p. (mimeografiada).
4. CORREA, A. Riegos y Drenajes. Palmira. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 1973. p. irr.
5. ESCOBAR, G., JURADO, R. y GUERRERO, R. Propiedades físicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas del Altiplano de Pasto, Nariño, Colombia. Turrialba 22(3): 338-346. 1972.
6. ESTADOS UNIDOS. SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS. Principios del a-
venamiento o drenaje. Trad. del inglés por Ramón Palazón. México,
Diana, 1972. 47 p. (Colección Ingeniería de Suelos No. 8).
7. FOSTER, A. B. Métodos aprobados en conservación de suelos. Trad. del
inglés por Adrián D. Valdés y Guillermo Fernández Lara. México,
Trillas, 1967. 411 p.
8. GAVANDE, S. Física de suelos. México, Limusa-Wiley, 1972. 351 p.
9. GRASSI, C. J. Manual de drenaje agrícola. Mérida, CIDIAT, 1969. 189 p.
(Material de enseñanza, Documento No. 63).

10. LEGARDA, B., ARIAS, H. y CITELLY, F. Riegos y drenajes. Pasto, Universidad de Mariño, 1974. 228 p. (Departamento de Ingeniería No. 1)
11. LUTHEIN, N. Drenaje de tierras agrícolas. Trad. del inglés por Alonso Blackaller y Guillermo Fernández de Lara. México, Limusa-Wiley, 1967.
12. ORGANIZACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS. CENTRO INTERAMERICANO DE VIVIENDA. Cartilla de la Vivienda. Bogotá, CIWA, 1956. pp p 2- a 1 - 2 - 5
13. ROE, H. B. y AYRES, Q. C. Drenajes agrícolas para ingenieros. Trad. del inglés por Mateo Sust. Barcelona, Omega, 1960. 546 p.
14. WESSELLING, J. Crop growth and wet soils. In : Schilfsgaarde J. V. ed. Drainage for agriculture. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy. 1974. pp 7-32.

TABLA I

PRUEBA DE STUDENT PARA EL NIVEL FREATICO MINIMO A CONDICIONES INICIALES (X)
Y FINALES (Y) (cm)

Pozo de Observación	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	14	33	462	196	1089
2	15	57	855	225	3249
3	20	30	600	400	900
4	11	32	352	121	1024
5	9	38	342	81	1444
6	13	48	624	169	2304
7	5	38	190	25	1444
8	31	33	1023	961	1089
9	00	30	00	00	900
10	6	35	210	36	1225
11	11	38	418	121	1444
12	29	57	1653	841	3249
13	5	7	35	25	49
14	8	30	240	64	900
15	23	32	736	529	1024
16	6	43	258	36	1849
Total	206	581	7656	3830	23183

$$\bar{X} \text{ inicial} = \frac{206}{16} = 12,875$$

$$\bar{X} \text{ final} = \frac{581}{16} = \frac{36,312}{23,437}$$

TABLA 1 (CONTINUACION)

$$ET_x = \frac{\sqrt{\frac{1177,751}{16}}}{\sqrt{16}} = \frac{8.58}{4} = 2,145$$

$$ET_y = \frac{\sqrt{\frac{2085,437}{16}}}{\sqrt{16}} = \frac{\sqrt{\frac{130.34}{4}}}{4} = \frac{14.11}{4} = 2,852$$

$$ET_y - x = \sqrt{2,852^2 - 2,145^2} = \sqrt{3,5229} = 1,879$$

$$t_{obt.} = \frac{23,437}{1,879} = 12,473^{**}$$

$$t_{0.01 \text{ para } n - 1 = 15 \text{ gl}} = 2,947$$

**

Significativo al nivel del 1%

AN

T

16725

631.62 .

A473 Alvarez López, Antonio.

Ej.1 . Evaluación de un sistema
de drenaje a nivel parca.....

NOMBRE Segundo L. Rosero

Nº del Carnet 8131078

NOMBRE Lawrence Rosero D.

Nº del Carnet 8131078

NOMBRE Anz Insuarez 213

AN

T

631.62

A473

Ej.1.

16725

17