

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT WASHINGTON, D. C. 20523 BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET	FOR AID USE ONLY BATCH 54
---	--

1. SUBJECT CLASSIFICATION	A. PRIMARY	Food Production and Nutrition	AF28-0000-G518
	B. SECONDARY	Soil erosion and reclamation--Colombia	

2. TITLE AND SUBTITLE
 Estudios de recuperacion en los suelos de textura ligera y mediana del Proyecto Atlantico-3, Colombia

3. AUTHOR(S)
 Watts, D.G.

4. DOCUMENT DATE 1971	5. NUMBER OF PAGES 92p.	6. ARC NUMBER ARC
--------------------------	----------------------------	----------------------

7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS
 Utah State

8. SUPPLEMENTARY NOTES (*Sponsoring Organization, Publisher, Availability*)

9. ABSTRACT

10. CONTROL NUMBER PN-RAA-056	11. PRICE OF DOCUMENT
12. DESCRIPTORS Atlantico 3 Project Colombia Field Tests Leaching	13. PROJECT NUMBER
	14. CONTRACT NUMBER CSD-2167 Res.
	15. TYPE OF DOCUMENT

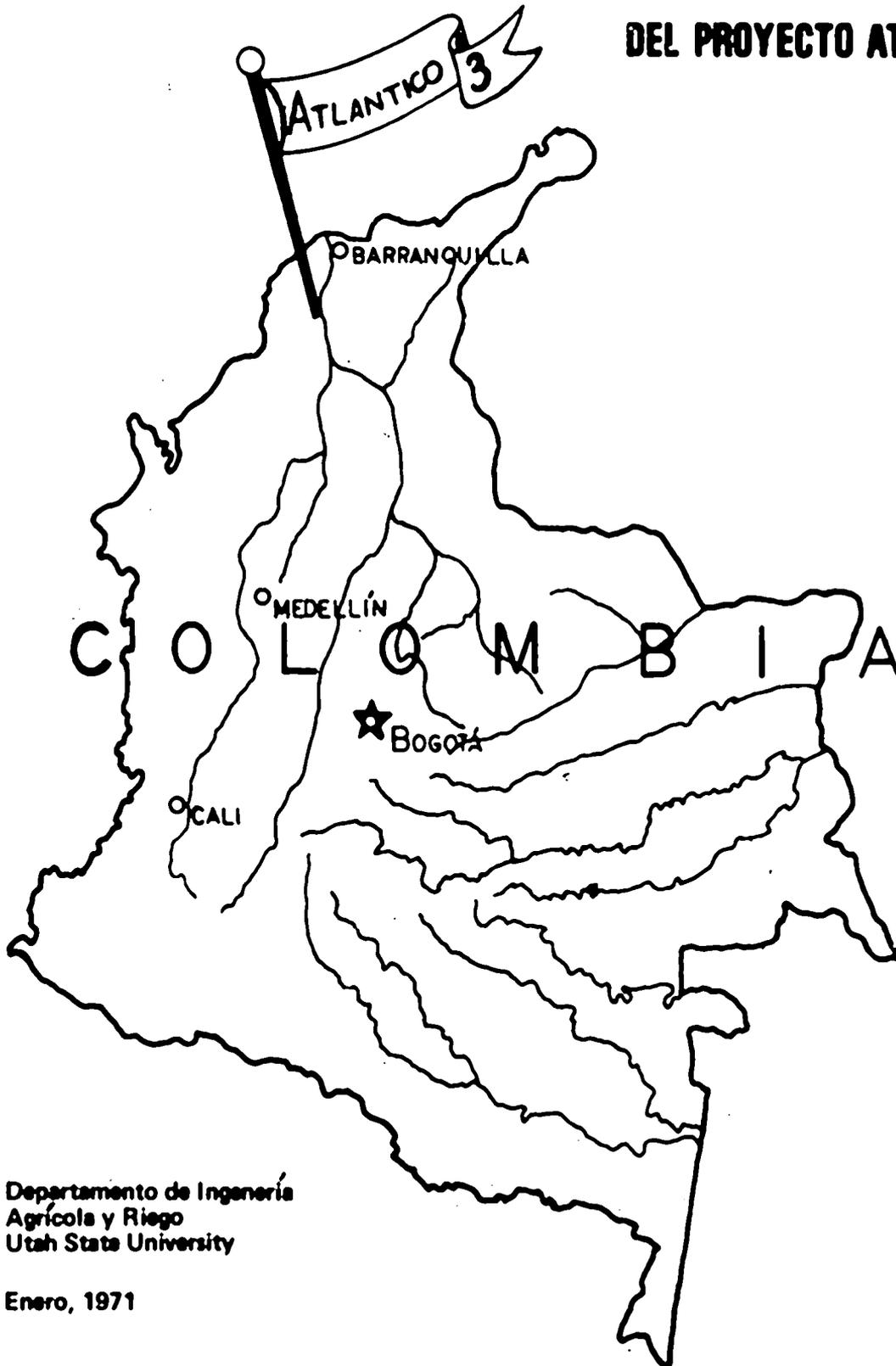
Informe Progresiva

**ESTUDIOS DE RECUPERACION EN LOS
SUELOS DE TEXTURA LIBERA Y MEDIANA**

DEL PROYECTO ATLANTICO-8

COLOMBIA

Preparado por
Derrell G. Watts



Departamento de Ingeniería
Agrícola y Riego
Utah State University

Enero, 1971

INFORME PROGRESIVA

**ESTUDIOS DE RECUPERACION EN LOS
SUELOS DE TEXTURA LIGERA Y MEDIANA
DEL PROYECTO ATLANTICO-3, COLOMBIA**

PREPARADO POR

DARRELL G. WATTS

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA Y RIEGO
UTAH STATE UNIVERSITY**

ENERO, 1971

P R E F A C I O

El trabajo de investigación objeto de este informe fue conducido como un sub-proyecto bajo el contrato AID/csd-2167, "Investigación del Manejo del Agua en Tierras Aridas y Sub-Húmedas de los Países En Desarrollo," entre la Universidad del Estado de Utah y La Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos.

Este informe detalla el progreso a la fecha en el sub-proyecto, "Problemas de Drenaje y Salinidad en los Proyectos de Irrigación de Colombia." Personal de la Universidad del Estado de Utah fue ocupado en el trabajo de campo del Proyecto Atlántico - 3, de Junio hasta mediados de Septiembre de 1969. Se hicieron posteriores visitas al proyecto en Noviembre de 1969 y otra vez en Marzo de 1970. Personal técnico colombiano continuó en la recolección de datos, de Septiembre de 1969 a Marzo de 1970.

El trabajo se inició como resultado de la solicitud de INCORA, Instituto Colombiano de Reforma Agraria a través de USAID. INCORA es la agencia gubernamental que tiene la responsabilidad en la reforma agraria y desarrollo agrícola. La investigación fue conducida cooperativamente con INCORA e ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. ICA tiene la responsabilidad de dirigir la investigación agrícola y pecuaria dentro del país.

R E C O N O C I M I E N T O

El autor expresa su gratitud a los Drs. Hernán Ramírez, Director Regional de INCORA y James Schwinden, AID-Colombia, quienes con su continua ayuda y estímulo hicieron posible que el proyecto de investigación fuera iniciado y dirigido. Se extiende un sincero agradecimiento a los Drs. Ricardo Valdez y Néstor Tafur del personal de INCORA e ICA, respectivamente, quienes pasaron muchas horas ayudando en la instalación del experimento y a recolectar información. El autor agradece también a su amigo y colega Sr. Kern Stutler, cuya ayuda fue invaluable, al conducir el muestreo inicial del suelo y seleccionar y preparar el terreno para el experimento y al Sr. James Hardee, estudiante graduado en Irrigación e Ingeniería Agrícola de la Universidad del Estado de Utah, quien ayudó en la preparación de los datos y análisis en computadora de los resultados experimentales. Por último, extiende su agradecimiento al Ing. José Aquize Carpio y a las Sras. Laura Tello de Warwick y Christine Barrus quienes formaron el equipo de traducción de este informe del original en inglés.

CONTENIDO

	Página
SUMARIO	x
INTRODUCCION	1
Antecedentes	1
La Necesidad de Investigación en Recuperación de Tierras	1
Objetivos	2
PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACION	4
Selección y Preparación del Lugar para Experimento	4
Aplicación del Agua	8
Colección de Datos	9
CONDICIONES DEL SUELO	12
Variabilidad en la Textura	12
Salinidad	12
Gravedad Específica Aparente	12
Velocidad de Infiltración	16
Variabilidad de Infiltración y Acumulación de la Sal	17
RESULTADOS DEL EXPERIMENTO	20
Disminución Promedia del Contenido de Sales	20
Comparación de Areas con Vegetación y sin Ella	20
Disposición de las Sales de Lavado	26
CONDICIONES DE LA NAPA FREATICA EN EL AREA EXPERIMENTAL	31
Efecto de una Capa de Arcilla Subsuperficial	31
Inexactitud de los Pozos de Observación	31
Problemas en la Interpretación de los Datos	38
Perfiles de la Napa Freática	38
Fluctuaciones de la Napa Freática	39
Desarrollo del Montículo del Agua Subterránea	41
Gradiente Hidráulica Vertical	45
LA SALINIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA EN LOS ALREDEDORES DE LAS PARCELAS DE LAVADO	51
IMPLICACIONES DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	53
Limitaciones	53
Posible Reducción de la Salinidad	53
Velocidad de Infiltración	54
Necesidad de Drenaje Subterráneo Adicional	55
Problemas en Análisis de Suelo	56

CONTENIDO (Continuación)

	Página
RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS POSTERIORES	57
Caracterización de las Areas Salinas	57
Experimento de Recuperación	57
APENDICE - DATOS EXPERIMENTALES	59

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Arboles Cítricos bien desarrollados en suelos No-Salinos de la Estación Experimental Santa Lucía	5
2	Vista de los suelos Salinos en el Campo Experimental Antes de la Instalación de Pruebas de Lavado	5
3	Contraste de Areas Desnudas y Con Vegetación en el Campo Experimental	6
4	Campo Experimental después de Terminada la Preparación de la Superficie	6
5	Disposición de las Parcelas de Lavado	7
6	Condiciones de la Superficie en las Parcelas para Aspersión tres horas Después de Iniciado el Riego	10
7	Mapa de la Vegetación de las Parcelas Experimentales Antes del Lavado	11
8	Perfiles de Textura y Salinidad del Suelo en Parcelas Lavadas	13
9	Perfiles de Textura y Salinidad del Suelo en Parcelas Lavadas	13
10	Perfiles de Textura y Salinidad del Suelo en Parcelas Lavadas	14
11	Perfiles de Textura y Salinidad del Suelo en Parcelas No Lavadas	14
12	Perfiles de Textura y Salinidad del Suelo en Parcelas No Lavadas	15
13	Perfiles de Textura y Salinidad del Suelo en Parcelas No Lavadas	15
14	Sección a través de las Parcelas Experimentales Ilustrando el fenómeno que Contribuye a la Salinización en Manchas	19

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
15	Perfil Promedio de Salinidad del Suelo en las Parcelas de Lavado, Antes y Después de la Operación de Lavado	21
16	Crecimiento de Vegetación en las Areas Originalmente Desnudas Después de Terminadas las Operaciones Iniciales de Lavado	22
17	Perfil Promedio de Salinidad del Suelo en las Parcelas de Lavado, para Perfiles con C.E. \leq 16 (mmho/cm) en los 30 cms Superficiales del Suelo	24
18	Perfil Promedio de Salinidad del Suelo en las Parcelas de Lavado, para Perfiles con C.E. $>$ 16 (mmho/cm) en los 30 cms Superficiales del Suelo	25
19	Perfil Promedio de Salinidad del Suelo en las Parcelas No Lavadas Antes y Después de la Operación de Lavado en las Parcelas Adyacentes	28
20	Perfil Promedio de Salinidad del Suelo a 6 metros de distancia de las Parcelas de Lavado	29
21	Perfil Promedio de Salinidad del Suelo a 16 metros de distancia de las Parcelas de Lavado	30
22	Comparación de la Elevación del Nivel del Agua a Diferente Tiempo para el Pozo No. 51 y Piézometros 5 - 7	32
23	Superficie del Agua en los Pozos y Nivel del Agua en los Piézometros, día No. 24	34
24	Superficie del Agua en los Pozos y Nivel del Agua en los Piézometros, día No. 24	35
25	Superficie del Agua en los Pozos y Nivel del Agua en los Piézometros, día No. 87	36
26	Superficie del Agua en los Pozos y Niveles del Agua en los Piézometros, día No. 87	37
27	Hidrogramas del Nivel de Agua en los Pozos 54, 64 y 69, y Registro Diario de Lluvia	40

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
28	Diferencias Relativas de Elevación del Agua en los Pozos con Referencia al Pozo 54	42
29	Diferencias Relativas de Elevación del Agua en los Pozos con Referencia al Pozo 64	43
30	Diferencias Relativas de Elevación del Agua en los Pozos con Referencia al Pozo 69	44
31	Gradiente Vertical entre los Piézómetros a 300 y 200 cms.	47
32	Gradiente Vertical entre los Piézómetros a 300 y 200 cms.	48
33	Gradiente Vertical entre los Piézómetros a 300 y 200 cms.	49
34	Gradiente Vertical entre los Piézómetros a 300 y 200 cms.	50
35	Conductividad Eléctrica Promedio del Agua Proveniente de Pozos de Observación, y de los Piézómetros Profundos y Superficiales	52

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Conductividad Eléctrica de los Extractos de Saturación del Suelo, Antes y Después del Lavado	60
2	Elevaciones del Nivel del Agua en los Pozos	62
3	Elevaciones del Nivel del Agua en los Piézómetros	64
4	Conductividad Eléctrica del Agua Subterránea	69
5	Datos de Lluvia Diaria del Período que Comienza el 25 de Agosto de 1969	72
6	Profundidad del Agua Agregada a las Parcelas de Lavado	73

SUMARIO

El Proyecto Atlántico-3 en la costa norte de Colombia tiene capacidad para producir una gran cantidad de cultivos de alto valor tanto para exportación como para consumo interno. Desafortunadamente, en algunas áreas las manchas de suelos salinos reducen considerablemente la productividad. Como una parte del programa de investigación para encontrar una solución al problema, una serie de pruebas de lavado fue instalada en una área salina de la Estación Experimental Santa Lucía. El objetivo básico del trabajo fue tener una mayor visión de la naturaleza del problema de salinidad en los suelos de textura ligera y mediana y obtener datos cuantitativos necesarios en el planeamiento en gran escala de los estudios de recuperación.

Se intentó lavar por inundación y por aspersión; sin embargo las pruebas por aspersión fueron abandonadas a causa de problemas de infiltración. Aspersores de baja intensidad de aplicación, que podrían haber reducido la magnitud del problema de escorrentía, no pudieron obtenerse en Colombia durante la época del experimento.

Los niveles de salinidad se redujeron apreciablemente en las parcelas inundadas al pasar aproximadamente 500 mm. de agua a través del perfil. Sin embargo lavado adicional sería requerido para conseguir un nivel aceptable de sal en el metro superior del suelo. Las manchas que tienen una baja salinidad superficial suficiente para permitir el crecimiento de mala hierba tolerante a la sal aparecieron ser más fácilmente mejorables, probablemente debido a que una velocidad de infiltración mayor permitió la entrada de más agua al suelo.

Lavado en mayor escala de áreas salinas utilizando aspersión será factible solamente si se toman medidas para aumentar la velocidad de infiltración bá-

sica. Una elevada gravedad específica aparente en la superficie del suelo parece ser un importante factor en limitar la entrada del agua en los suelos que son salinos en la superficie. Es posible que se mejore la velocidad de infiltración por medio de tratamientos de arado y manteniendo cobertura vegetal. No se sabe si los mejoradores de suelo serían de valor en solucionar el problema de infiltración.

No fue posible hacer una adecuada evaluación del estado del sodio en los suelos estudiados. El laboratorio pequeño del Centro de Operaciones del proyecto no estuvo equipado para ejecutar los análisis requeridos, y no fue posible por entonces hacer los arreglos para el envío de muestras al laboratorio de Palmira. La falta de equipo para hacer análisis de sodio en el proyecto, y la gran pérdida de tiempo para ejecutar estos trabajos en algún otro lugar son problemas que deben superarse si los problemas de salinidad del proyecto se van a estudiar y resolver.

Será requerida, al parecer, la construcción de drenaje superficial adicional a espacimiento más cercano que el actual de 400 metros, si se han de conducir operaciones exitosas de lavado. En ausencia de drenes muy próximos gran parte de agua salina de las parcelas de lavado fluyó lateralmente a través del suelo a las zonas adyacentes donde se evaporó o fue usada por las plantas. El nivel de salinidad del suelo circundante a las parcelas de lavado se incrementó grandemente debido a las sales dejadas por el agua evaporada. Poco o nada del efluente de lavado llegó a los canales de drenaje.

Basándose en los resultados de este trabajo preliminar, dos tipos de estudios de campo se sugieren como siguientes pasos para solucionar el problema:

1. Más amplia determinación de las características de las áreas salinas con particular referencia a los factores causantes de la baja

velocidad de infiltración.

2. Un experimento de recuperación incluyendo diferentes tratamientos para incrementar la velocidad de infiltración, permitiendo así la entrada más rápida del agua de lavado. Debe intentarse el lavado con aspersores de muy baja velocidad de aplicación. El área experimental deberá ser drenada por tubería subterránea de drenaje a varios espacimientos.

INTRODUCCION

Antecedentes

El Proyecto Atlántico-3 abarca un área de aproximadamente 32,000 Has. en la relativamente plana llanura de la costa norte de Colombia. Es un proyecto de desarrollo de INCORA, Instituto Colombiano de la Reforma Agraria. Actualmente una área piloto de aproximadamente 6,000 Has. está siendo sometida a un intenso desarrollo, con las subsecuentes etapas del proyecto a seguirse en un futuro cercano. Una bien dirigida agricultura bajo riego juega parte importante en el concepto del desarrollo total.

Se ha planeado que los productos agrícolas del proyecto ayudarán a proveer de una fuente adicional de divisas, así como también a contribuir en el mejoramiento del estandar de vida de mucha gente de la región costera del Norte. Para asegurar el logro de estos propósitos ha sido necesario incluir una investigación agrícola como parte del proceso de planeamiento.

La Necesidad de Investigación en Recuperación de Tierras

En el Proyecto Atlántico-3, los suelos aluviales de textura ligera y mediana encontrados cerca del Río Magdalena y del Canal del Dique, tienen un considerable potencial agrícola para el desarrollo de cultivos de alto valor tales como cítricos. Desafortunadamente, esos suelos no son uniformemente buenos porque algunas áreas son afectadas por diferentes grados de salinidad. Por ejemplo, medidas en la granja experimental Santa Lucía, indican que una significativa parte de los suelos en la granja están con problemas de relativa magnitud debido a las sales*. Las áreas salinas tienden a encontrarse en parches circundados

* "Proyecto Atlántico-3, Sección Sur - Reporte del Suelo, Etapa I," Instituto Colombiano de La Reforma Agraria, Barranquilla, Col. Julio, 1969.

por suelos que tienen poco o ningún problema de salinidad. Dentro de las áreas salinas, el problema varía en grado desde una muy moderada salinidad hasta un nivel tan alto que impide el crecimiento de plantas.

Por algún tiempo ha sido obvio que la productividad total podría ser incrementada significativamente en los suelos aluviales si el nivel de salinidad se redujera en las zonas afectadas por la sal. No se conocen, sin embargo, qué procesos de recuperación deben emplearse y si los beneficios estarían de acuerdo con el costo. También ha habido alguna indicación que bajo las condiciones climáticas e hidrológicas existentes en el área, el proceso de salinización en algunos de los sitios continúa en crecimiento. El límite hasta el cual ésto debiera ser considerado en el planeamiento de las medidas de recuperación, no es conocido.

Objetivos

Para tener una mejor visión de la naturaleza del problema de salinidad y obtener información cuantitativa necesitada para planear en gran escala los estudios de recuperación, se condujeron una serie de pruebas de lavado en la granja experimental de Santa Lucía. Específicamente se buscó en la investigación determinar lo siguiente:

1. Variación de concentración de sales, vertical y horizontalmente en una área de suelo altamente salino.
2. La relación, si hay alguna, entre la salinidad y textura del suelo.
3. Los factores hidrológicos y de suelo que contribuyen a la formación del problema de sal.
4. El grado de recuperación que se podría alcanzar aplicando diferentes cantidades de agua a través del perfil del suelo.
5. Si el lavado de parches salinos localizados podría conseguirse sin

la necesidad de construir drenaje subterráneo suplementario, que se agregaría a los drenes abiertos ya existentes en la zona.

Los estudios reportados aquí fueron llevados a cabo en un suelo designado en el mapa del proyecto como de Tipo II en cuanto a su grado de salinidad. El tipo VII de suelo, que también se encuentra en el área y que está caracterizado por problemas de salinidad, no fue estudiado.

PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACION

Selección y Preparación del Lugar para Experimento

Un lugar para el estudio de recuperación fue seleccionado en una área de huertos de cítricos de Santa Lucía, donde el nivel de salinidad de suelo era suficientemente alto para reducir, o impedir completamente el crecimiento normal de los árboles. La figura No. 1 muestra el grado de desarrollo del crecimiento de árboles cítricos, en suelo no salino en el área de los huertos. En contraste, las figuras Nos. 2 y 3 ilustran las condiciones de la superficie encontradas en el sitio experimental antes de la instalación de las pruebas de lavado: Manchas de suelo completamente áridas y altamente salinas alternan con vegetación de moderada o alta tolerancia a las sales. El árbol pequeño de la izquierda en la figura No. 2 es de la misma antigüedad de los árboles grandes de la figura No. 1. En ésta área cuatro parcelas cada una de 20 por 30 metros de largo, fueron estacadas y separadas por diques pequeños o bordes de 60 cms. de alto. Antes de levantar los diques, el suelo fue arado con un arado de disco no reversible a una profundidad de aproximadamente 15 cms. y luego fue igualado haciendo 2 pases de rastra pesada de discos. La figura No. 4 muestra la condición de las parcelas después de que la preparación de la superficie fue completada.

Filas de pozos de observación y baterías de piezómetros fueron instaladas en las cuatro direcciones de las parcelas experimentales. La disposición y espaciamiento de los pozos y piezómetros se muestran en la figura No. 5. También se indica la ubicación relativa de las parcelas con respecto a los drenes abiertos ya existentes de dos metros de profundidad. Todos los pozos de observación fueron instalados a una profundidad de 2.75 mts. debajo de la superficie del terreno. Cada batería de piezómetros contenía tubos que alcan-



Fig. 1. Arboles de Cítricos bien Desarrollados en Suelos No Salinos de la Estación Experimental Santa Lucia.



Fig. 2. Vista de Suelos Salinos en el Campo Experimental Antes de la Instalación de las Pruebas de Lavado.

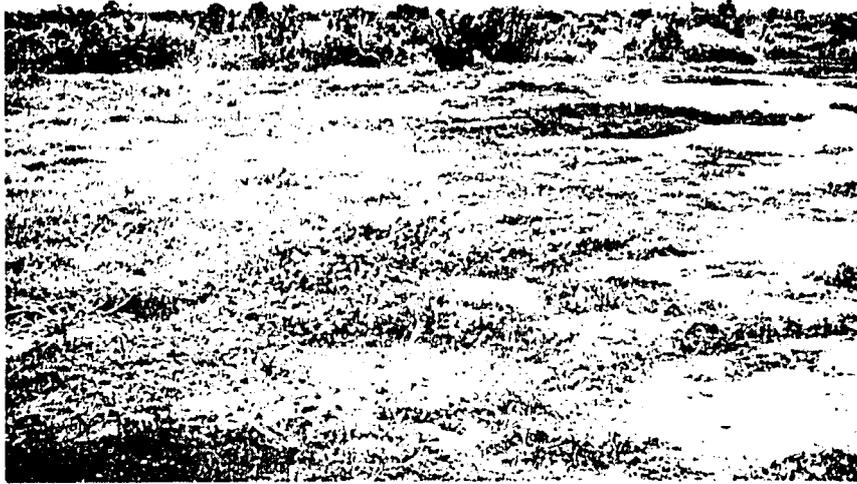


Fig. 3. Contraste de Areas Desnudas y con Vegetación en el Campo Experimental.



Fig. 4. Campo Experimental después de Terminada la Preparación de la Superficie.

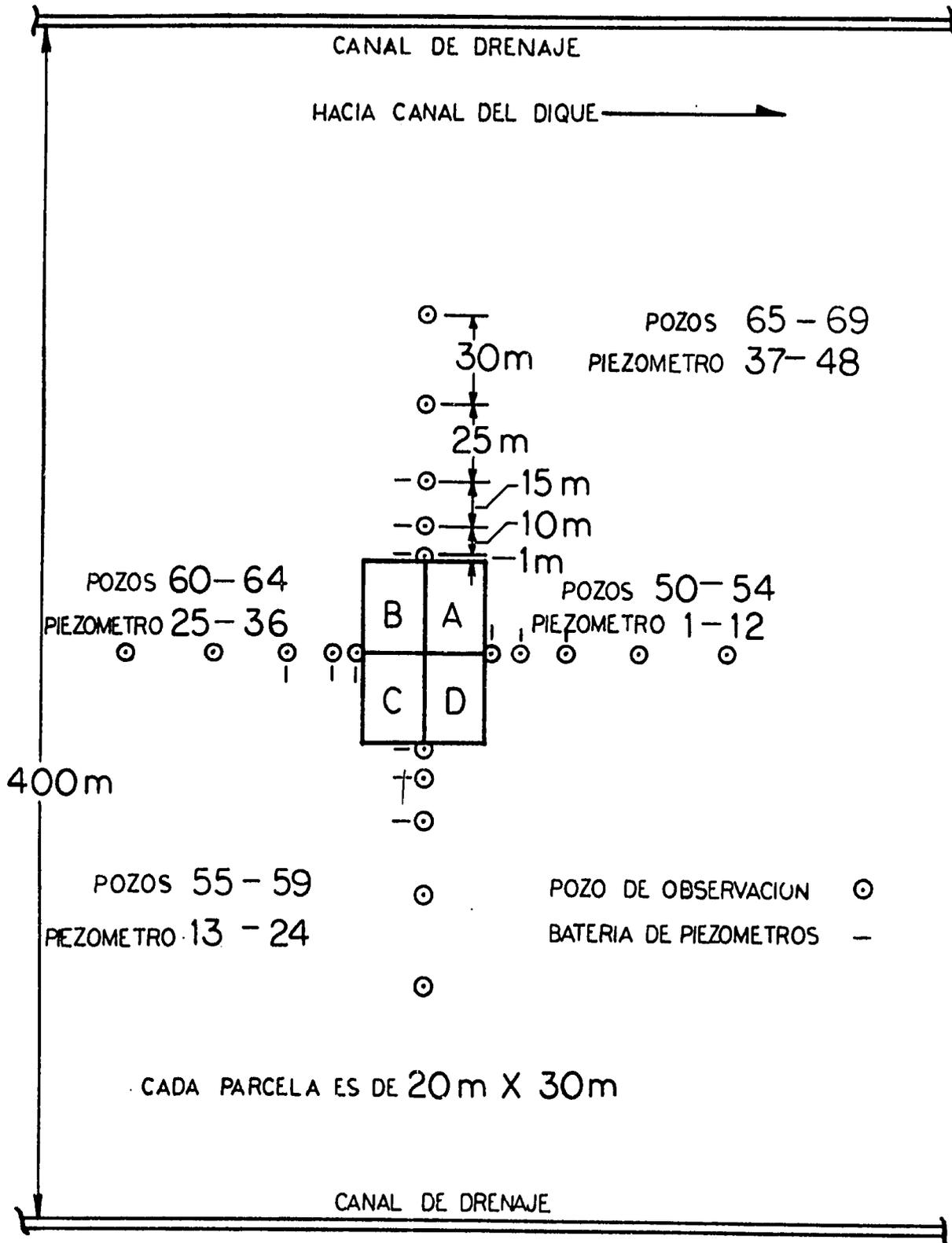


Fig. 5 Disposición de las Parcelas de Lavado.

zaban una profundidad de aproximadamente 100, 130, 180 y 280 centímetros por debajo de la superficie del terreno. Las cotas de los extremos superiores de todos los pozos y tubos, y de la superficie del terreno en cada punto de instalación, fueron determinadas por un levantamiento topográfico.

Aplicación del Agua

El plan inicial de operación requería la aplicación neta de aproximadamente 500 milímetros de agua en dos de las cuatro parcelas, por el sistema de inundación. Las otras dos parcelas debían recibir la misma cantidad neta por medio de aplicaciones periódicas por aspersión. (Aplicación neta es definida como la aplicación bruta más lluvia, menos la evaporación superficial de la parcela). Después de la primera aplicación de 500 milímetros, todas las parcelas debían dejarse secar para así poder permitir el crecimiento de vegetación. Una segunda aplicación de 500 milímetros se aplicaría luego en una forma similar a la primera.

Desafortunadamente, las pruebas de lavado no pudieron ser conducidas en las parcelas bajo riego por aspersión como se planeó. Los suelos demostraron tener velocidad de infiltración muy baja. En consecuencia, aún una moderada velocidad de aplicación de los aspersores disponibles excedió la velocidad de infiltración del suelo, causando escorrentía e inundación a la hora o menos de iniciado el riego. La figura No. 6 muestra las condiciones existentes en la superficie de las parcelas C y D aproximadamente tres horas después de comenzar la aspersión. Debido a que los aspersores de baja velocidad de aplicación no fueron obtenidos en Colombia, se decidió abandonar las parcelas para aspersión y concentrarse en obtener la máxima información posible de las parcelas inundadas. Estas, pueden también ser vistas en el fondo de la fotografía de la figura No. 6.

Colección de Datos

Antes de la preparación del terreno, se tomaron muestras de suelo con 30 cms. de incremento a una profundidad de 180 cms. en seis sitios de cada parcela. Además tres series de muestras fueron tomadas a una profundidad total de 300 cms. El muestreo se repetiría después de cada 500 milímetros de la aplicación neta del agua. La figura No. 7 muestra la ubicación, espaciamiento y sistema de numeración de los diferentes perfiles de suelos determinados durante el proceso de muestreo. También en la misma figura están ilustrados los lugares de los diferentes tipos de vegetación encontrados en la parcela antes de la preparación de la superficie del suelo. También se tomaron muestras para determinar la gravedad específica aparente a lo largo del perfil del suelo. Antes de la aplicación inicial de agua y después a intervalos periódicos se tomaron muestras de agua de los pozos de observación y de los piezómetros para determinar la conductividad eléctrica del agua del terreno. Desafortunadamente no fue posible obtener un análisis completo de suelo en las muestras tomadas antes del lavado. Por lo tanto nada se sabe acerca de la capacidad de intercambio de cationes de estos suelos y muy poco acerca del contenido del sodio. Las muestras tomadas en los 30 cms. superficiales de una parcela cercana de condiciones similares, indicaron la existencia de 16 a 18 por ciento de sodio cambiante. Esto es solo una indicación de las condiciones de la parcela experimental, desde que la naturaleza del suelo es extremadamente variable de un punto a otro en las manchas salinas.

Toda la información recolectada durante el curso del experimento ha sido tabulada y se incluye en las tablas No. 1 a 6 en el apéndice de éste informe.

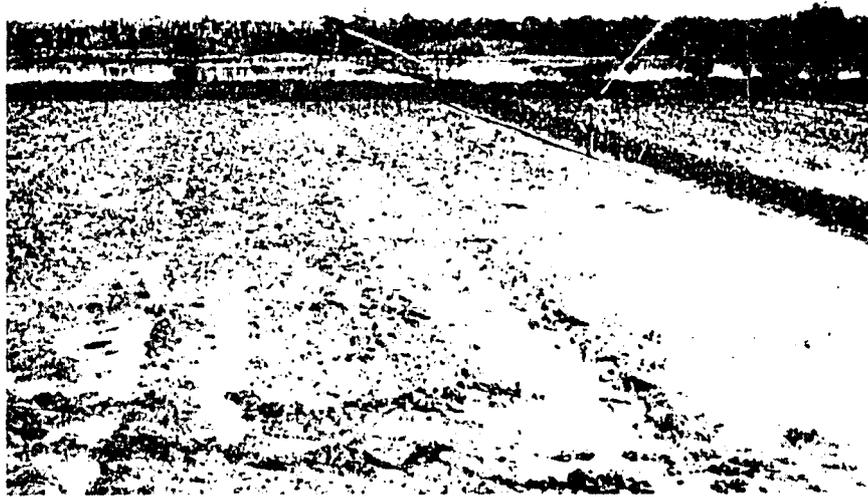


Fig. 6. Condiciones de la superficie en Parcelas para Tratamiento por Aspersión. Obsérvese en el Fondo las Parcelas Sujetas a Inundación.

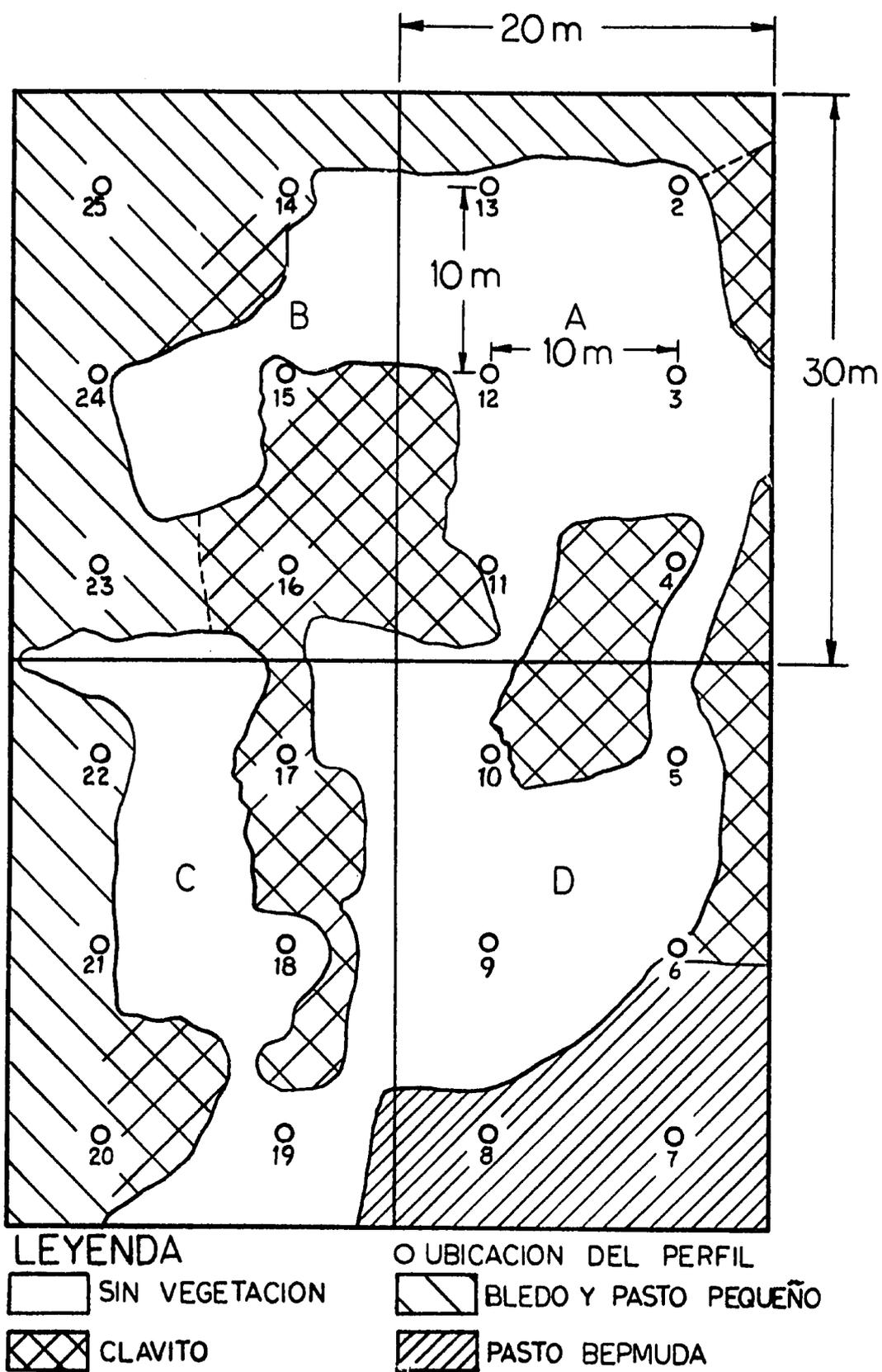


Fig. 7 Mapa de la Vegetación de las Parcelas Experimentales Antes del Lavado.

CONDICIONES DEL SUELO

Variabilidad en la Textura

El suelo en las parcelas experimentales demostró ser muy heterogéneo, como es típico de los suelos ligeros que están dentro del proyecto. Muchos de los perfiles, hechos en cuadrículas de 10 metros de espaciamiento mostraron muy poca semejanza entre ellos, excepto por la presencia de una capa de arcilla que comienza a profundidades de 120 a 140 cms.

Salinidad

La salinidad del suelo fue tan variable como las características de textura. En las figuras Nos. 8 a 13 se muestran los perfiles de salinidad antes del lavado, junto con las características de textura correspondientes a los puntos de muestreo. Cualquier relación aparente entre salinidad y textura es simplemente casual. En realidad, la vegetación de la superficie parece ser mejor indicadora de la salinidad del suelo, que la textura considerada independientemente. Las razones de esto serán discutidas en párrafos posteriores. En muestras típicas tomadas en los 20 cms. superficiales del perfil del suelo, la conductividad eléctrica del extracto de saturación varía de 3 a 16 milimhos por centímetro en lugares con vegetación, y de 16 a 65 milimhos en áreas desnudas. En general, los perfiles que tienen baja salinidad en la superficie mostraron un menor promedio de salinidad a través del perfil ubicado encima de la capa arcillosa.

Gravedad Específica Aparente

La gravedad específica aparente de los 15 cms. superficiales del perfil del suelo parece ser significativamente mayor en las áreas desnudas altamente salinas cuando se comparó con las áreas menos salinas cubiertas por vegetación. Muestras

FIG. 8. PERFILES DE TEXTURA Y SALINIDAD DEL SUELO PARCELAS LAVADAS

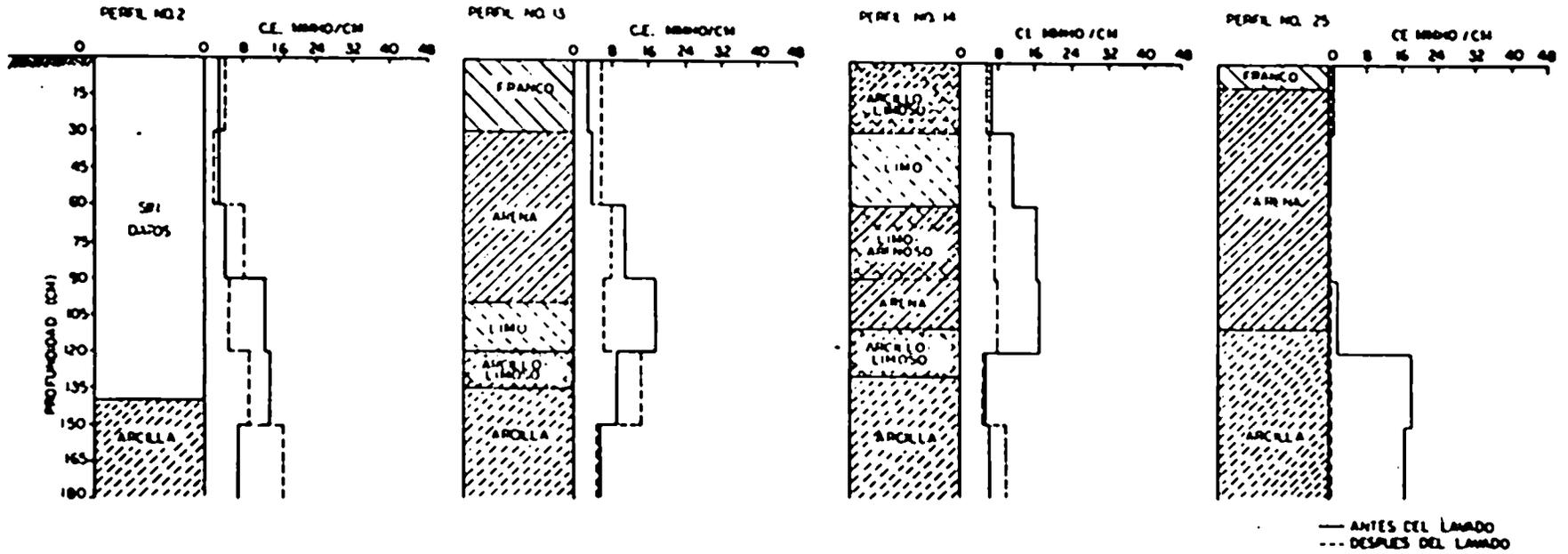


FIG. 9. PERFILES DE TEXTURA Y SALINIDAD DEL SUELO PARCELAS LAVADAS

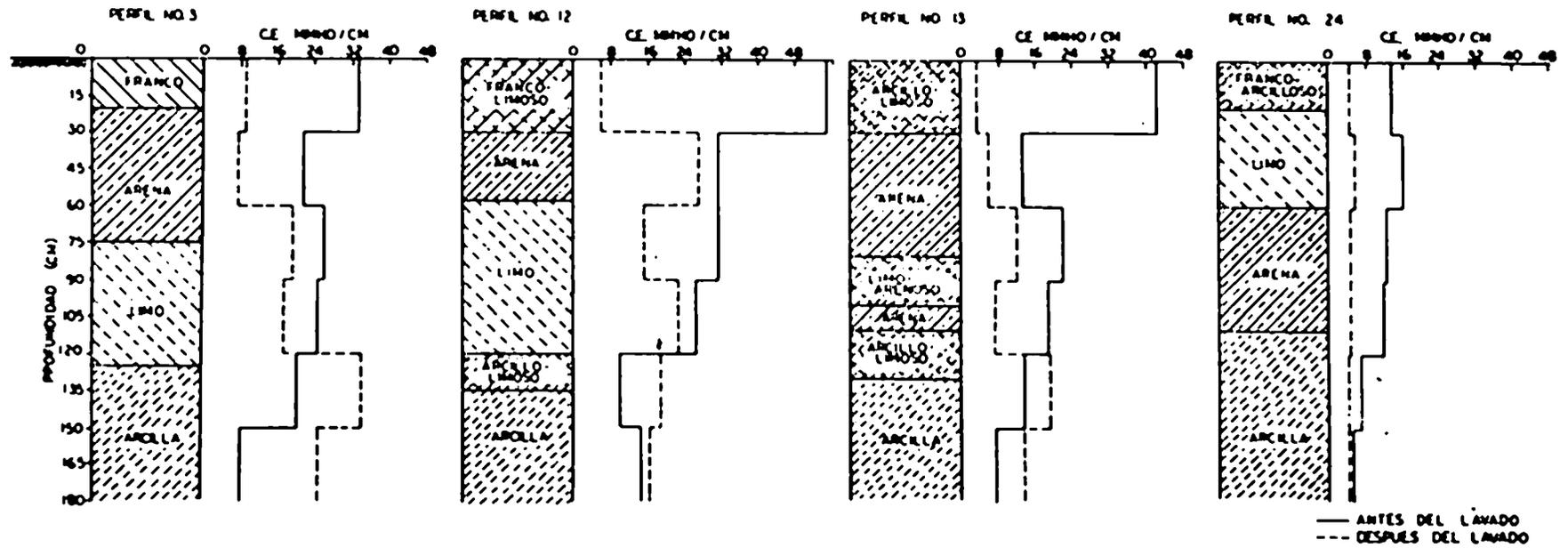


FIG. 10. PERFILES DE TEXTURA Y SALINIDAD DEL SUELO EN PARCELAS LAVADAS

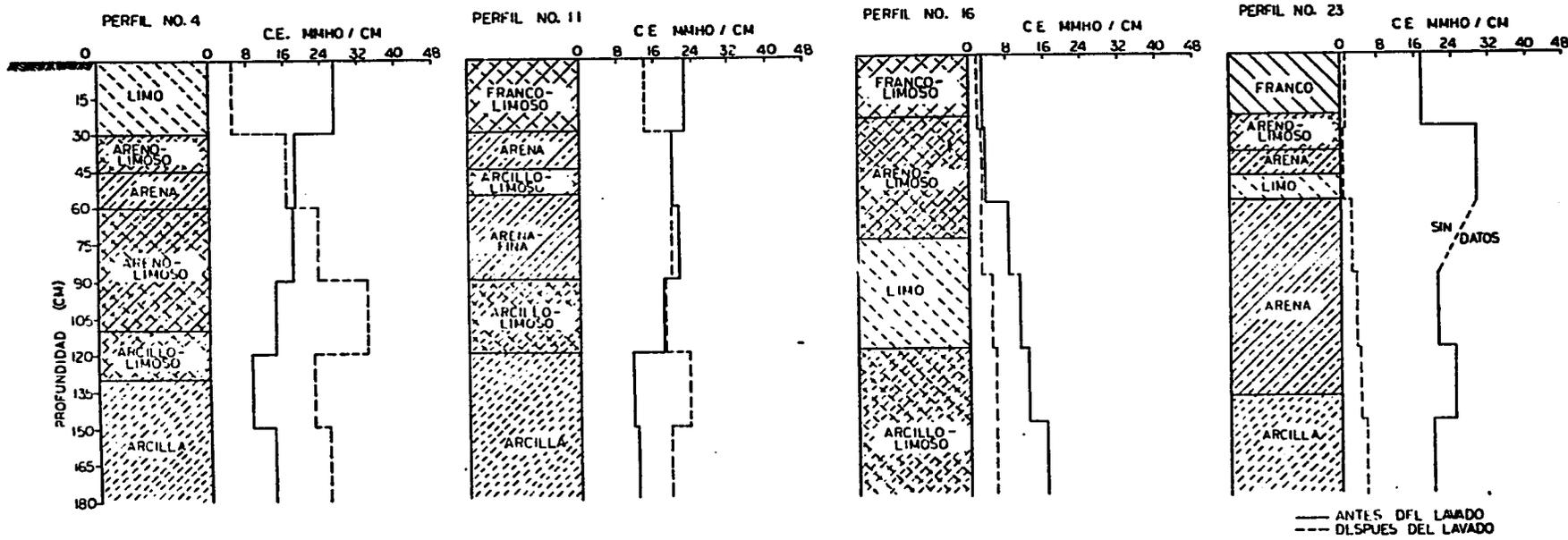


FIG. 11. PERFILES DE TEXTURA Y SALINIDAD DEL SUELO EN PARCELAS NO LAVADAS

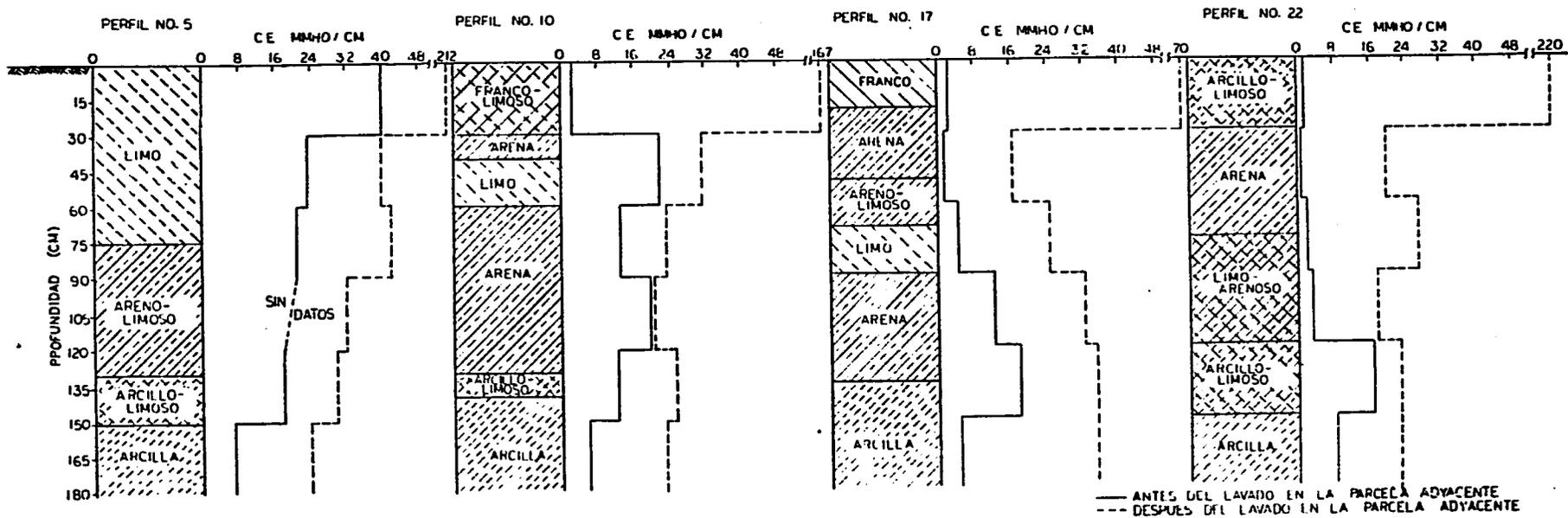


FIG. 12. PERFILES DE TEXTURA Y SALINIDAD DEL SUELO EN PARCELAS NO LAVADAS

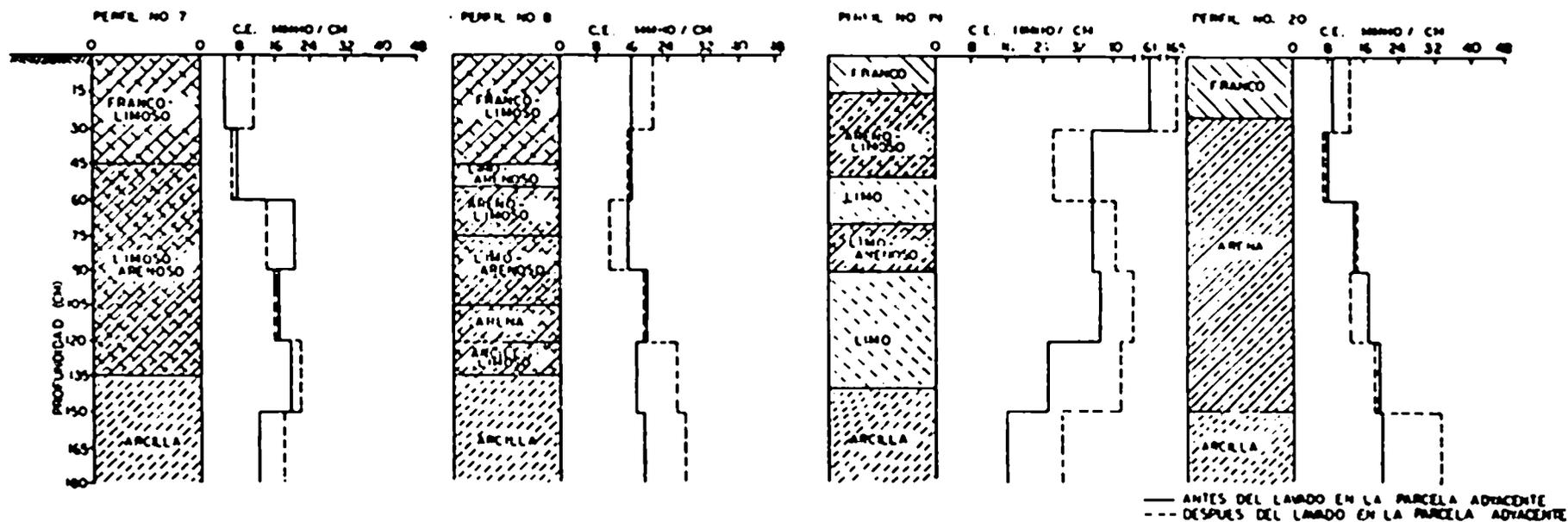
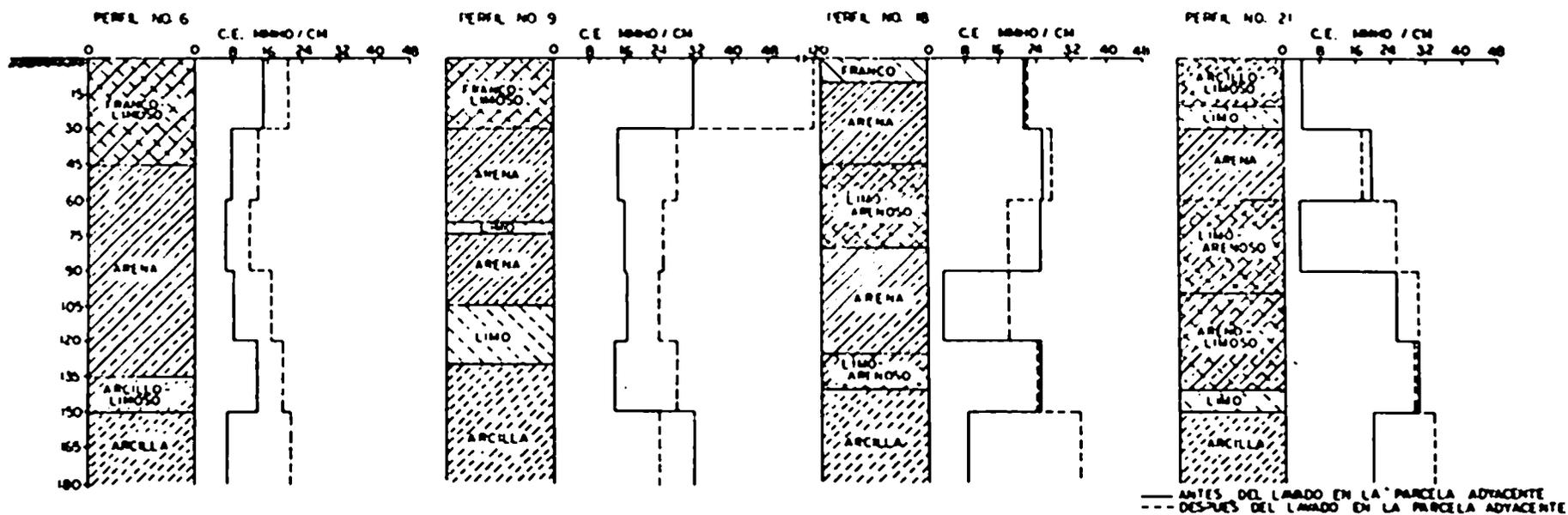


FIG. 13. PERFILES DE TEXTURA Y SALINIDAD DEL SUELO EN PARCELAS NO LAVADAS



tomadas dentro de las parcelas experimentales indicaron un rango de 1.40 a 1.58 dentro de las áreas desnudas con un valor medio de 1.48. Sobre vegetación, el rango fue de 1.23 a 1.40 con valor medio de 1.33. Por debajo de los 15 cms. superficiales, la densidad aparente varió de 1.25 a 1.40 arriba de la arcilla. Dentro de la arcilla los valores medidos variaron de 1.45 a 1.64, indicando un mayor promedio de densidad aparente que el encontrado en el metro superficial del suelo.

Velocidad de Infiltración

La velocidad de infiltración en las parcelas fue baja, como se dijo anteriormente. La velocidad media de infiltración tres días después de iniciado el riego fue de solo 0.75 milímetros por hora en la parcela No.1, y aproximadamente 1 milímetro por hora en la parcela No. 2. Después de que las dos parcelas fueron inundadas por 30 días, los valores descendieron a 0.5 y 0.65, respectivamente. Al final de la primera aplicación de agua, se estimó una profundidad de agua infiltrada de 413 mm. en la parcela A y 579 mm. en la parcela B. Estos cálculos fueron obtenidos al hacer un balance de agua. Los detalles de cálculo se encuentran en la tabla 6 del apéndice.

El proceso de preparación de la tierra debía haber aflojado la superficie del suelo en las zonas desnudas, produciendo alguna mejora en la velocidad de infiltración. Sin embargo en las zonas sin vegetación el arado de disco no penetró más de 8 a 10 cms. y fue muy inefectivo en este aspecto. Un número limitado de medidas de infiltración que se hicieron usando cilindros infiltrómetros, indicaron que el suelo debe ser aflojado en las áreas desnudas hasta una profundidad de 24 a 30 cms. antes de que un mejoramiento significativo en el grado de filtración pueda ser alcanzado.

Hay también una posibilidad de que la alta calidad del agua usada en el

proceso de lavado pueda haber tenido un efecto en la velocidad de infiltración. El agua usada en las pruebas de lavado y en los estudios de infiltración fue el agua normal de irrigación bombeada desde el Río Magdalena. La conductividad eléctrica fue solo de 0.2 milimhos por centímetro. Si existió un problema de sodio en la parte superior del perfil del suelo, el bajo contenido de sal en el agua de lavado serviría para acelerar la velocidad de defloculación de la fracción de arcilla en los 2 ó 3 cms. superficiales del suelo tan pronto como el lavado normal hubiera tenido lugar. No se sabe si fue realmente éste el proceso, pero es posible sin embargo, que fue un factor que contribuyó al problema de baja velocidad de infiltración.

Variabilidad de Infiltración y Acumulación de la Sal

Aunque la velocidad de infiltración en casi todos los puntos de las parcelas experimentales fue baja, hay evidencia de que fue significativamente alta en las áreas que habían tenido vegetación comparadas con aquellas que estaban desnudas. Esta diferencia continuada a través de varios años ha contribuido sin lugar a duda a la continua salinización de las áreas más desnudas. Cuando ocurre una tormenta, esencialmente toda la lluvia en las manchas descubiertas se escurre, mientras que por lo menos una parte de esa lluvia que cae sobre las áreas vegetadas se infiltra en el suelo, proveyéndolo de un cierto lavado del perfil por debajo de la vegetación, contribuyendo así a la formación y aumento de una tabla de agua confinada por encima de la capa de arcilla. Puesto que poco o nada de agua entra en los suelos sin vegetación, no hay contribución directa en aquellos puntos de la zona saturada por arriba de la arcilla. Consecuentemente, una pendiente de agua subterránea se establece con movimiento de la corriente, del nivel más alto del agua bajo la vegetación a un nivel más bajo de agua, en las manchas desnudas. Flujo no saturado hacía arriba y subsecuen-

te evaporación y depósito de sales sobre o cerca de la superficie sirve para continuar el proceso de salinización. Por supuesto, hay también algún flujo ascendente en las zonas con vegetación durante el período no lluvioso. Sin embargo, el efecto neto parece ser como se describió. Este proceso está ilustrado en la figura No. 14, que corresponde a una sección transversal del área de la parcela incluyendo ambas zonas : desnudas y con vegetación. El lugar de la parte superior de la capa de arcilla está indicado así como también la elevación relativa de la tabla de agua, dada por el nivel del agua en los varios agujeros de muestreo tomados al día siguiente de que el muestreo fue completado. La dirección de la gradiente del agua del suelo es muy clara. Durante el proceso de muestreo del suelo se observó que esencialmente todas las áreas desnudas parecieron estar secas en la parte superior del perfil aún cuando hubiera llovido tres días antes. Las áreas con vegetación estuvieron relativamente húmedas desde la superficie hasta la zona por encima de la arcilla.

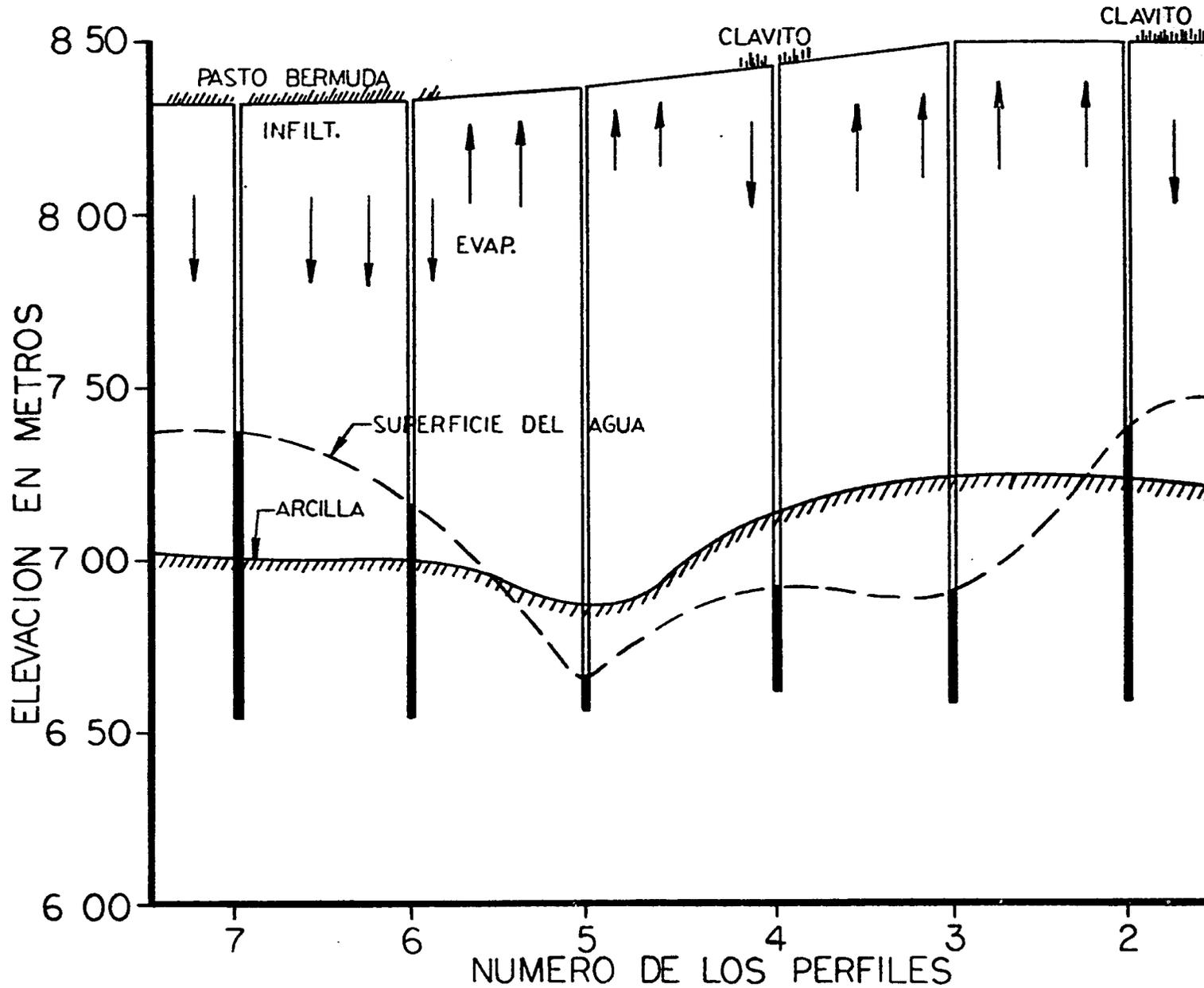


Fig. 14 Sección a Través de las Parcelas Experimentales Ilustrando el Fenómeno Que Contribuye a Salinización en Manchas.

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DE LAVADO

Disminución Promedia del Contenido de Sales

Aunque el experimento de lavado ha sido terminado, los resultados de muestreos de suelo después de la segunda aplicación de 500 milímetros no se encuentran aún disponibles. La discusión sin embargo, estará basada en los muestreos del suelo hechos antes del lavado y después de la primera aplicación neta de agua de 500 milímetros. La figura No. 15 muestra el perfil promedio de la salinidad del suelo en las parcelas inundadas antes y después de la operación del lavado. Ciertamente se observa que una significativa reducción en la salinidad fue lograda en el primer metro superficial del suelo. La figura sugiere que sería benéfico el lavado adicional como hasta ahora ha sido conducido. Bajo condiciones resultantes del primer lavado, los cultivos tolerantes a la sal crecerían y producirían una cosecha bastante buena, siempre que se mantuviera un alto nivel de humedad en el suelo. La figura 16 muestra el relativamente abundante crecimiento de vegetación tolerante a la sal, que se desarrolló en las parcelas de lavado después de que los primeros 500 milímetros habían sido aplicados. La verdolaga en el primer plano de la figura cubre una área previamente libre de vegetación.

Comparación de Areas con Vegetación y sin ella

La figura No. 15 no presenta un cuadro totalmente exacto de los resultados del experimento de lavado, primordialmente porque los perfiles de salinidad fueron muy variables de un punto a otro. Para tener una mejor visión acerca de la efectividad del lavado, los datos fueron reagrupados en dos categorías: (a) Perfiles con conductividad eléctrica inicial del extracto de saturación con menos de 16 millimhos en los 30 cms. superficiales. (b) Perfiles con conductivi-

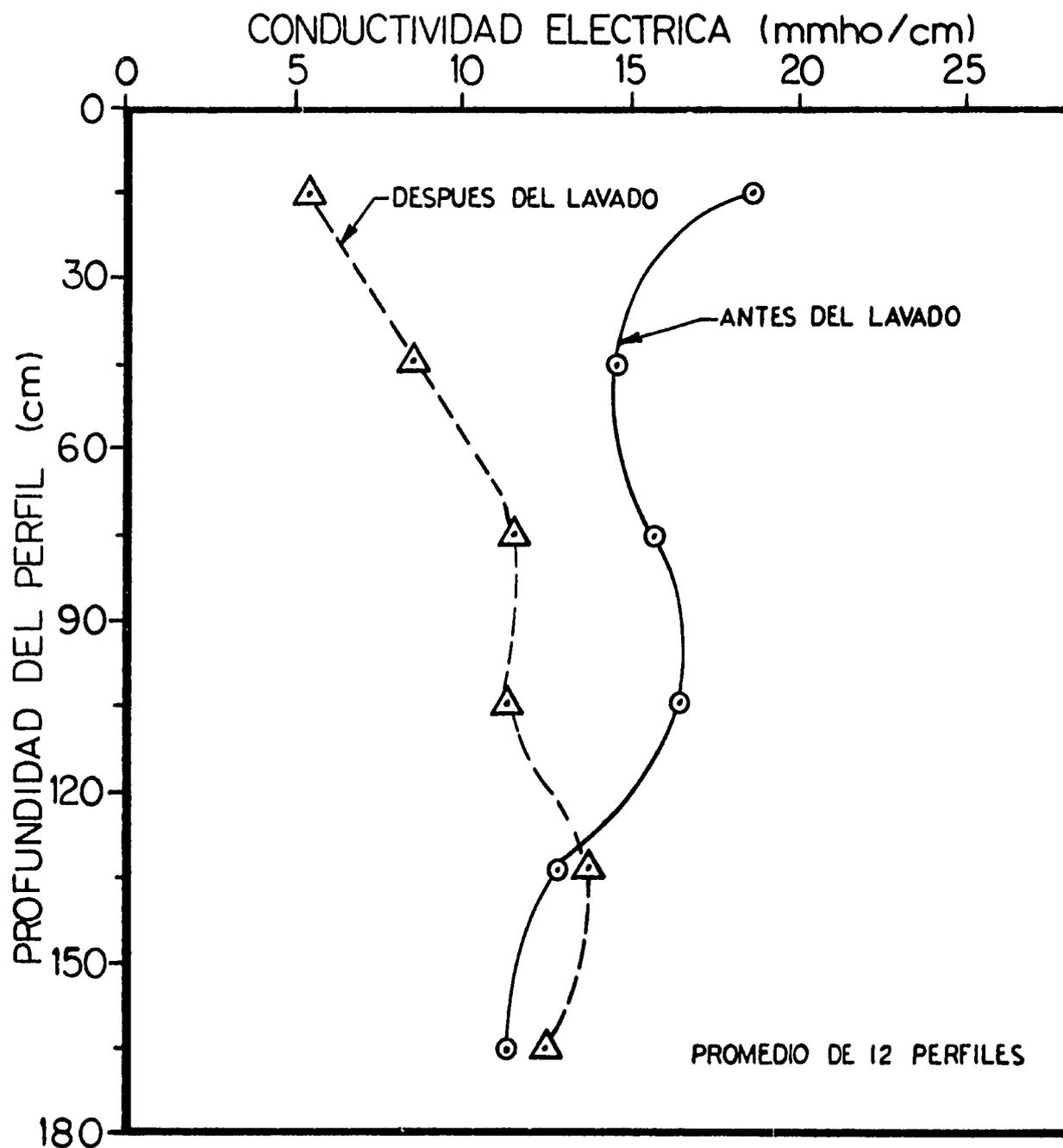


Fig. 15 Perfil Promedio de Salinidad del Suelo en las Parcelas de Lavado, Antes y Después de la Operación de Lavado.



Fig. 16. Crecimiento de Vegetación en Areas Originalmente Desnudas, después de Terminadas las Operaciones Iniciales de Lavado.

dad eléctrica inicial mayor de 16 millimhos en los 30 cms. superficiales. Todos los puntos en la categoría "a" fueron con vegetación y tuvieron una densidad aparente moderada en la superficie. La mitad de todos los lugares de muestreo cayeron en esta categoría. Ninguno de los de la categoría "b" tuvo vegetación y en general correspondieron a sitios desnudos, con alta salinidad superficial y una relativamente alta densidad aparente cerca de la superficie. La figura No. 17 muestra los perfiles de sal antes y después del lavado para los puntos con una salinidad inicial baja en la superficie. En estas manchas se nota que se produjo un ligero mejoramiento en los primeros 60 cms. del perfil. Una reducción mayor en la salinidad se obtuvo entre los 60 cms de profundidad de la capa de arcilla a aproximadamente 130 cms. La figura No. 18 muestra los datos obtenidos para los puntos, con una salinidad inicialmente alta en la superficie. En este caso, sin embargo, la mayoría de la reducción de salinidad ocurrió en los primeros 90 cms. del perfil. También se nota un aumento en el contenido de sal en la capa de arcilla (por debajo de 130 cms.) . Este es el resultado del flujo vertical descendente, que ocurre a través de la arcilla hacia la napa freática permanente más baja. Es muy probable que, en la mayoría de los puntos representados en la figura No. 18, se infiltró menos del promedio de altura de agua de lavado : La alta densidad de la superficie en estos puntos redujo sin duda la velocidad de infiltración en una cantidad significativa. Es posible que alrededor del 60 ó 70 por ciento del total del volumen del agua infiltrada en las parcelas entró en el suelo a través de las áreas previamente con vegetación y que solo 30 ó 40 por ciento del agua de lavado entró realmente en los puntos representados en la figura No. 18.

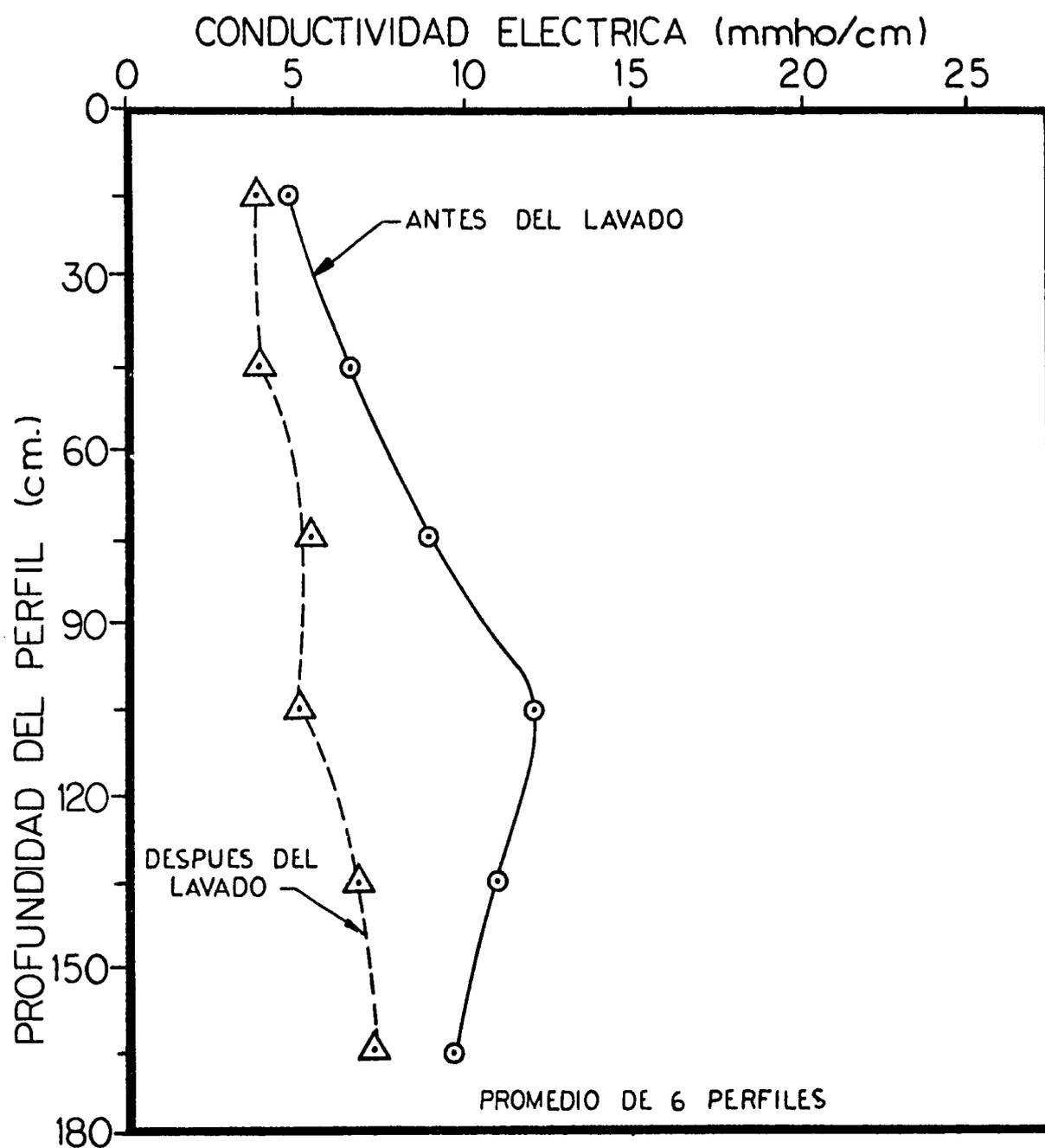


Fig. 17 Perfil Promedio de Salinidad del Suelo en Parcelas de Lavado, para Perfiles con C.E. Inicial \leq 16 (mmho/cm) en los 30 cm. Superficiales del suelo.

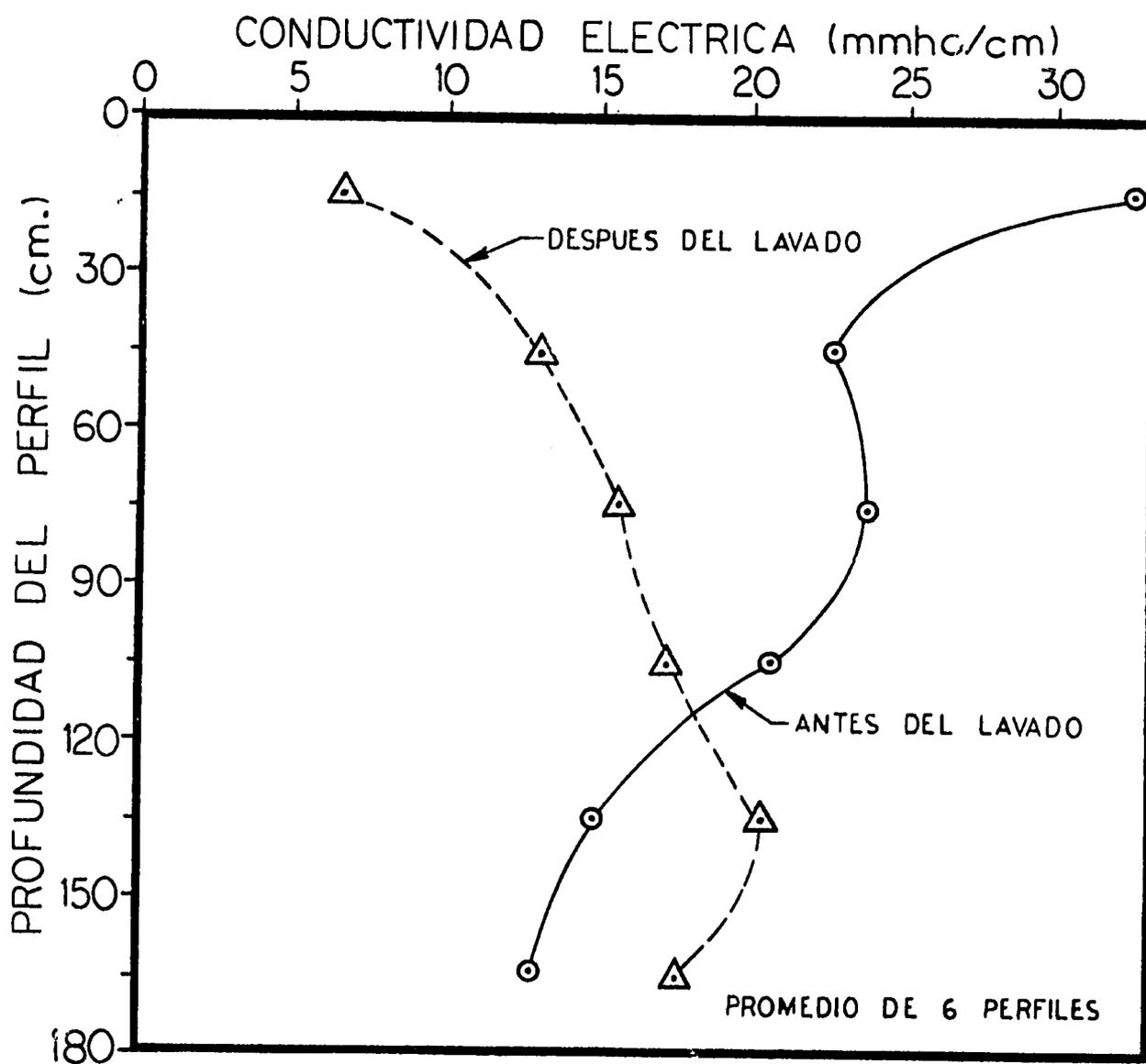


Fig. 18 Perfil Promedio de Salinidad del Suelo en Parcelas de Lavado, para Perfiles con C.E. Inicial > 16 mmhos/cm, en los 30 cm. Superficiales del Suelo.

Disposición de las Sales de Lavado

Antes de que el experimento de mejoramiento fuera iniciado, se reconoció que las sales de lavado de las parcelas tenían que ser removidas del campo o de lo contrario el problema de salinidad sería simplemente esparcido a las áreas circundantes. Un visitante experto en drenajes había sugerido antes que las delgadas capas de arena que aparentemente cruzan el área podrían ser suficientemente permeables como para transmitir cantidades significantes de agua a los ya existentes canales de drenaje. Si así fuera, esto evitaría la necesidad de adicional drenaje subterráneo. Suponiendo que este fuera el caso, se esperaba que una parte del flujo salino de lavado de las parcelas se movería directamente a los canales de drenaje más cercanos a través de la arena. El resto del flujo posiblemente sería distribuido en los huertos circundantes y sería depositado temporalmente en el perfil hasta que eventualmente fuera llevado a los drenes abiertos por agua de lavado resultante de las ineficiencias normales del riego. Si esto se pudiera conseguir sin una significativa reducción en la producción de los árboles cítricos sanos, entonces realmente un limitado "lavado de las manchas" podría conseguirse en pequeñas áreas sin la instalación de un drenaje subterráneo suplementario. Desafortunadamente, este no resultó ser el caso.

La velocidad de flujo horizontal pareció ser muy lenta, evidenciada por la expansión, así mismo lenta de zonas elevadas o "montículos" en la napa freática que se forman por la presencia de agua en la superficie. Esto sugiere que muchas de las manchas arenosas encontradas durante los muestreos de suelo pueden no ser interconectadas, reduciendo su efectividad como acuíferos para conducir el flujo de drenaje. Además las bajas velocidades de infiltración dentro de las parcelas mismas evitan el movimiento de cualquier cantidad razonable de

agua dentro del sistema freático en un corto período de tiempo. La baja velocidad de efluente de las parcelas estuvo esencialmente en balance con la evaporación y la limitada cantidad de flujo vertical a través de las capas de arcilla. El resultado fue que el contenido de sal del suelo adyacente a las parcelas lavadas aumentó considerablemente durante el proceso de lavado. Esto se ilustra con las curvas de la figura No. 19, que muestran los perfiles promedio de salinidad en las parcelas para riego por aspersión que se abandonaron. Estos perfiles fueron determinados antes y después del lavado en las parcelas adyacentes inundadas. La figura No. 19 indica un aumento muy alto de salinidad en los 30 cms. superiores, y marcados incrementos ocurren en todos los puntos bajo esa profundidad. Las figuras Nos. 20 y 21 muestran los perfiles promedio de salinidad a distancias de 6 y 16 metros, respectivamente en las parcelas lavadas. A una distancia de 6 metros de las parcelas lavadas, la salinidad del suelo esencialmente se duplicó por todo el perfil. A los 16 metros, la salinidad fue mayor que el doble en los 30 cms. superficiales.

Los canales de drenaje cerca de las parcelas experimentales no estaban todavía conectados a una salida en la época en que el trabajo de investigación fue conducido. Sin embargo, con excepción de los últimos 30 días de estudio, esto pudo haber tenido poco efecto en los resultados experimentales, ya que los canales estuvieron casi secos hasta antes de las cuatro últimas semanas de trabajo.

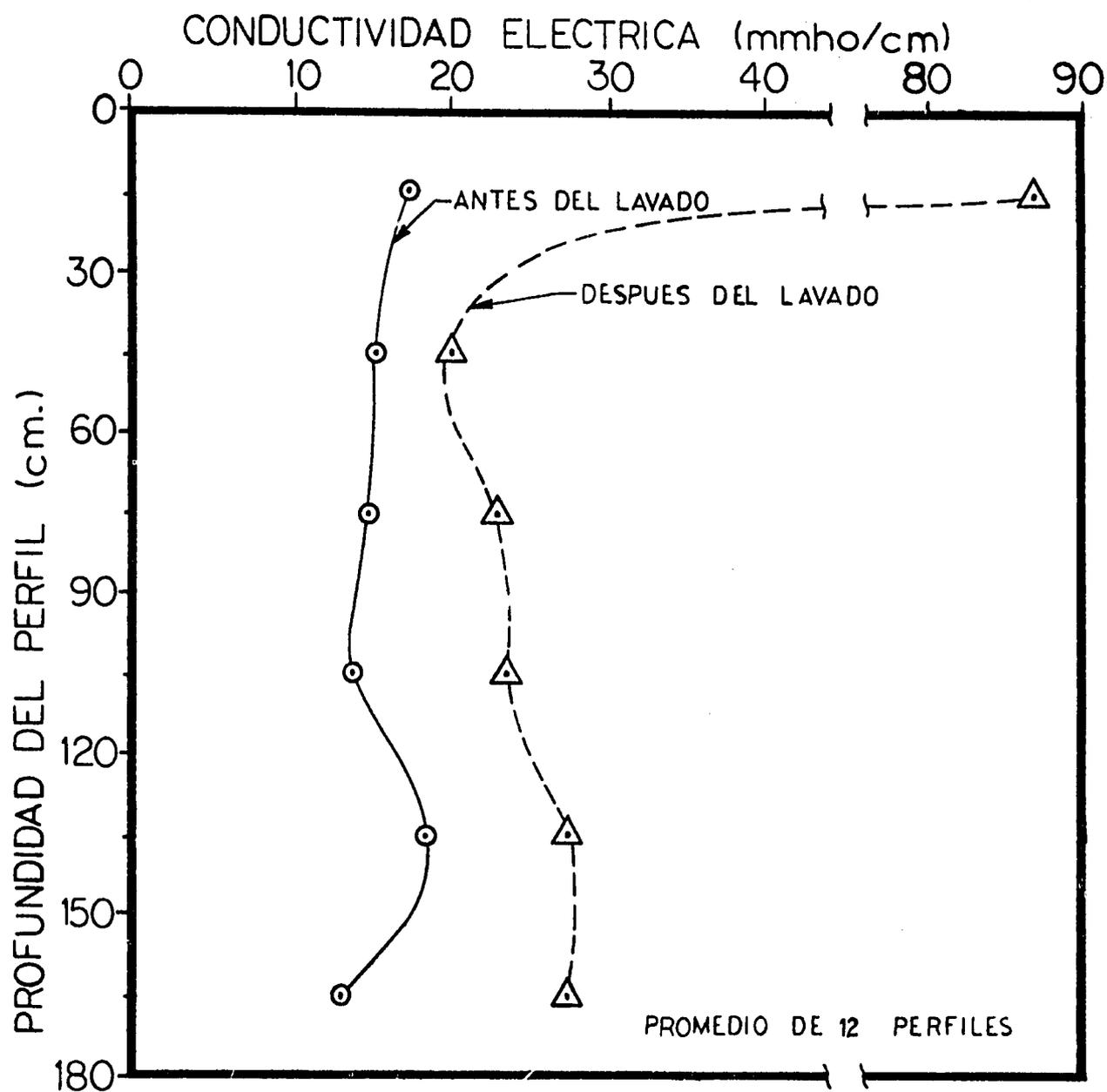


Fig. 19 Perfil Promedio de Salinidad del Suelo en las Parcelas No Lavadas Antes y Después de la Operación de Lavado en las Parcelas Adyacentes.

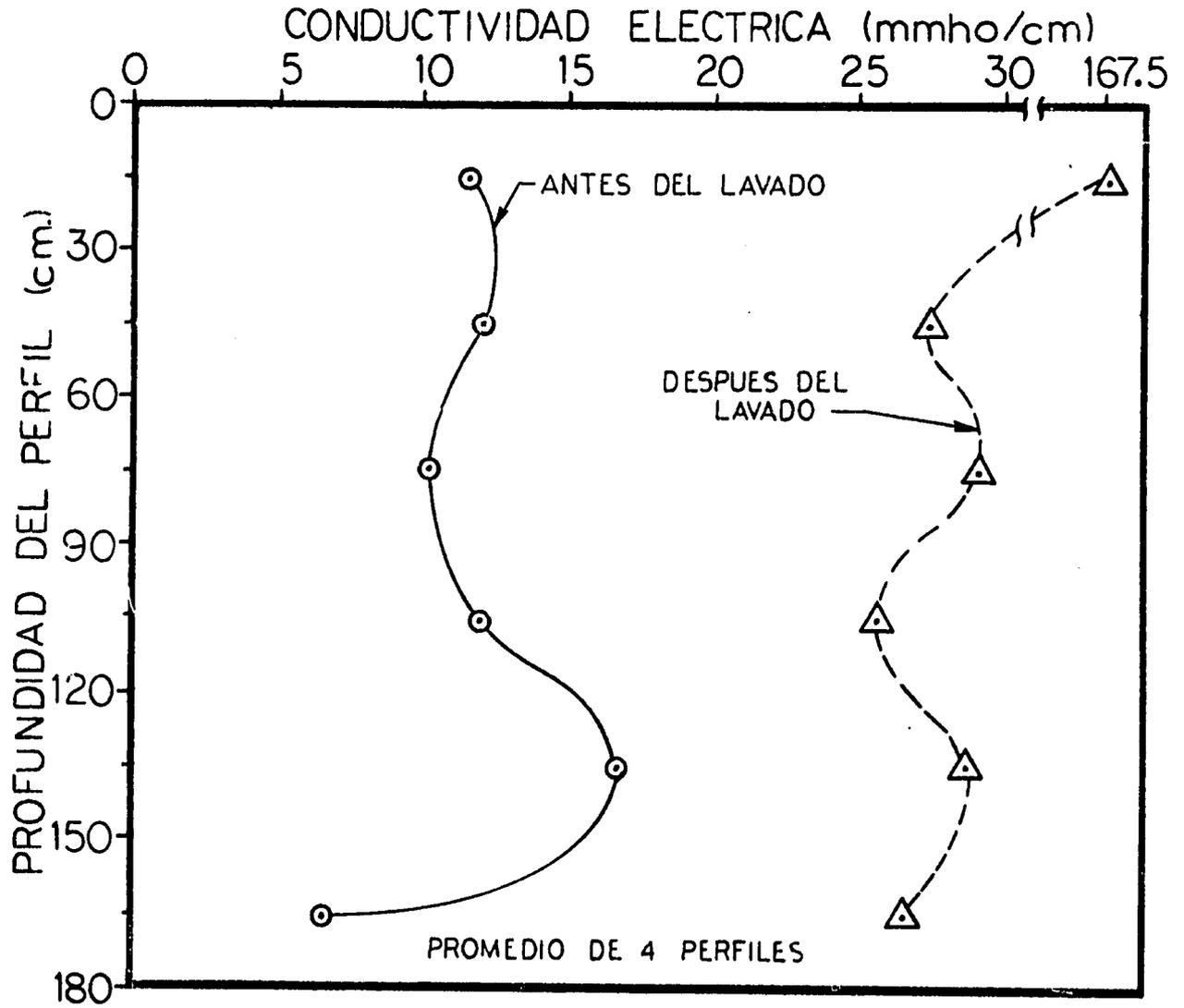


Fig. 20 Perfil Promedio de Salinidad del Suelo a 6 metros de distancia de las Parcelas de Lavado.

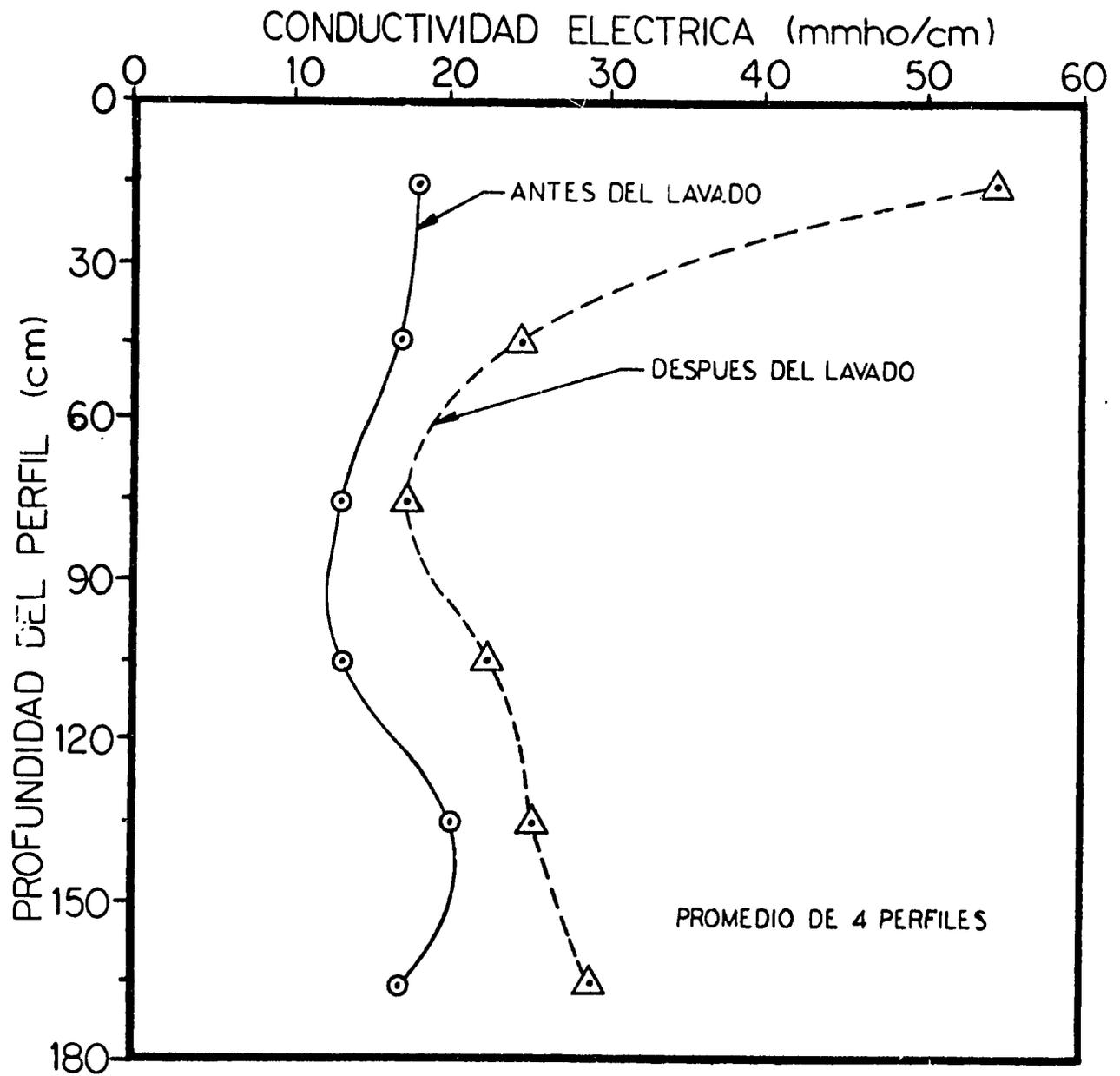


Fig. 21 Perfil Promedio de Salinidad del Suelo a 16 metros de distancia de las Parcelas de Lavado.

CONDICIONES DE LA NAPA FREÁTICA EN EL AREA EXPERIMENTAL

Efecto de una Capa de Arcilla Subsuperficial

Uno de los más importantes aspectos físicos que se estudió dentro del área salina, fue la presencia de una capa de arcilla, comenzando a una profundidad de 120 a 140 cms. por debajo de la superficie del suelo. El espesor de esta capa fue variable y pareció fluctuar entre 1 y 1.5 metros. La permeabilidad vertical pareció ser más bien baja, ya que la arcilla pareció ser bastante densa. La permeabilidad horizontal probablemente fue más grande que la vertical debido a la presencia de bandas muy delgadas de limo y arena en toda la profundidad de la arcilla. Como previamente se indicó el efecto neto de la arcilla fue crear una barrera contra el movimiento vertical del agua, causando así la formación de una napa freática aislada, y limitando altamente la cantidad de lavado hacia abajo que pudo ocurrir. El autor observó que el efecto visible de salinidad en los árboles cítricos del área descendió aproximadamente en el punto donde la capa de arcilla se volvía discontinua o bastante delgada. En este lugar fue posible un mayor movimiento vertical del agua en el perfil del suelo.

Inexactitud de los Pozos de Observación

Bajo las condiciones de una napa freática aislada y gradiente hidráulica hacia abajo no se espera que los pozos de observación que penetran la capa de arcilla puedan mostrar un cuadro verdadero de localización de la napa freática. Este fue el caso con los pozos usados para medir las fluctuaciones del agua superficial cerca de las parcelas de lavado. La figura No. 22 muestra para cuatro fechas diferentes durante el período de medidas, una comparación del nivel del agua en uno de los pozos de observación, y los niveles en los diferentes piezómetros existentes en la batería adyacente. Con excepción de la figura No. 22a,

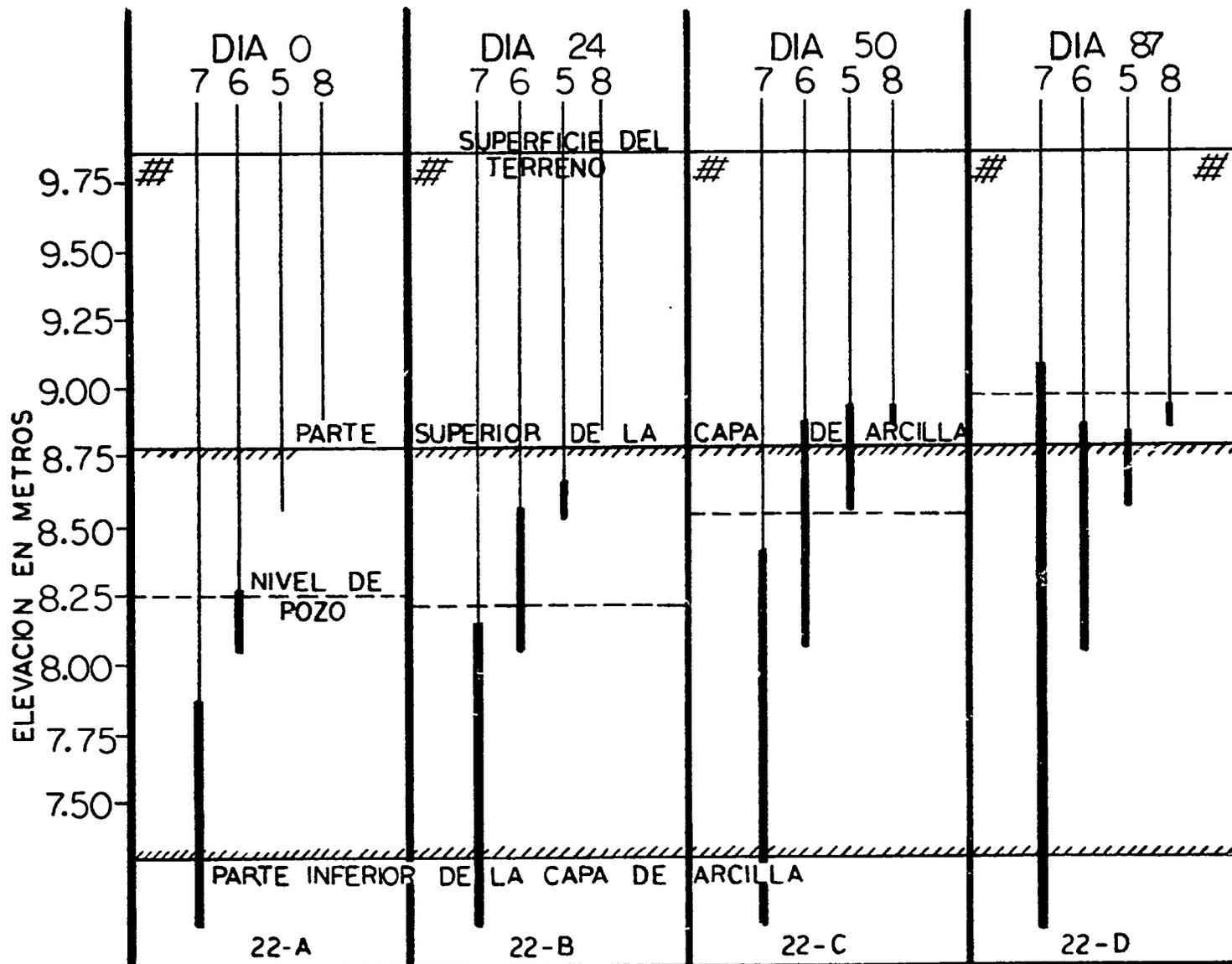


Fig. 22 Comparación de la Elevación del Nivel del Agua a Diferente Tiempo para el Pozo No. 51 y Piézómetros 5 - 7.

el pozo de observación dá solamente una indicación aproximada de la elevación actual de la napa freática. Esto es cierto tanto para las gradientes indicadas en la figura No. 22b, y c, y para la gradiente ascendente indicada en la figura No. 22d. Bajo ciertas condiciones, el uso solamente de pozos de observación podría dar falsa información con referencia a la naturaleza del sistema de agua subterránea.

Este problema está ilustrado más adelante en las figuras No. 23 a 26, que muestran los perfiles de la sección transversal de las parcelas experimentales en las cuatro direcciones, la elevación de la superficie del agua en los diferentes piezómetros y la localización de la napa freática dada por los pozos de observación. Se presentan datos para el 24° día después de iniciado el lavado cuando la gradiente vertical estaba en descenso, y para el 87° día cuando una reversión de la gradiente vertical había tenido lugar debido a influencias exteriores. Es bastante evidente en las figuras, que la elevación de la superficie del agua dada por los pozos de observación y la elevación dada por el piezómetro de más baja profundidad conteniendo agua no se corresponden. Además de esto no hay patrón coherente. Por ejemplo en la figura No. 23, el nivel indicado por el pozo No. 60 es mucho más alto que el nivel mostrado por el piezómetro más superficial con agua. En la misma figura los pozos 50 y 51 muestran un nivel más bajo que el piezómetro más superficial con agua. Podemos también notar en las figuras que algunas de las lecturas del piezómetro son inconsistentes, indicando ambas un flujo ascendente y descendente a un "sumidero" en la arcilla. El examen de los perfiles del suelo indica que esto no es posible. Es por consiguiente opinión del autor que, o las lecturas fueron erróneas, y/o algunos de los piezómetros fueron tan lentos en su respuesta que fueron poco precisos. De aquí que, la naturaleza del flujo del agua subterránea fue medida por la tendencia gene-

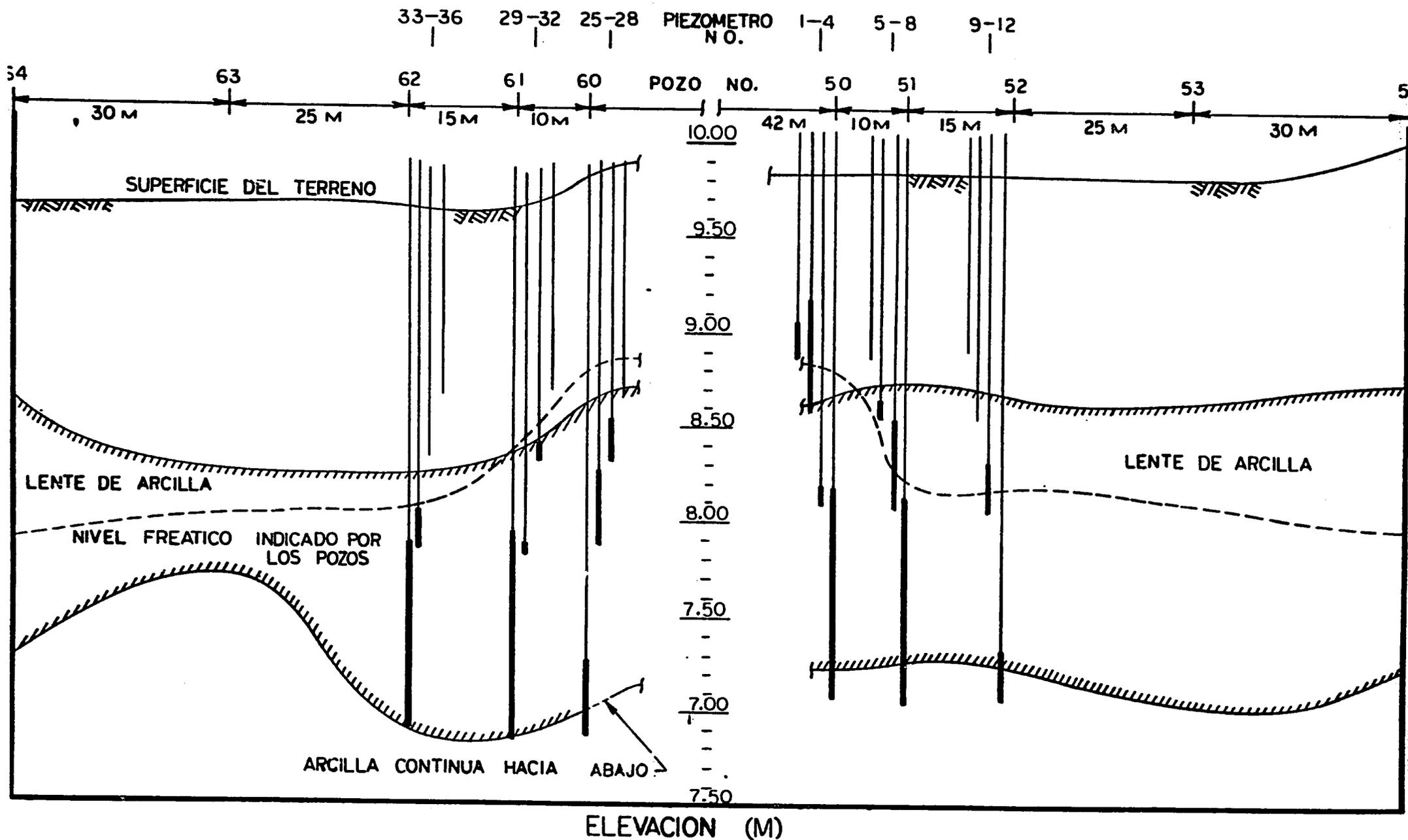


Fig. 23 Superficie del Agua en los Pozos y Nivel de Agua en los Piezómetros, Día No. 24.

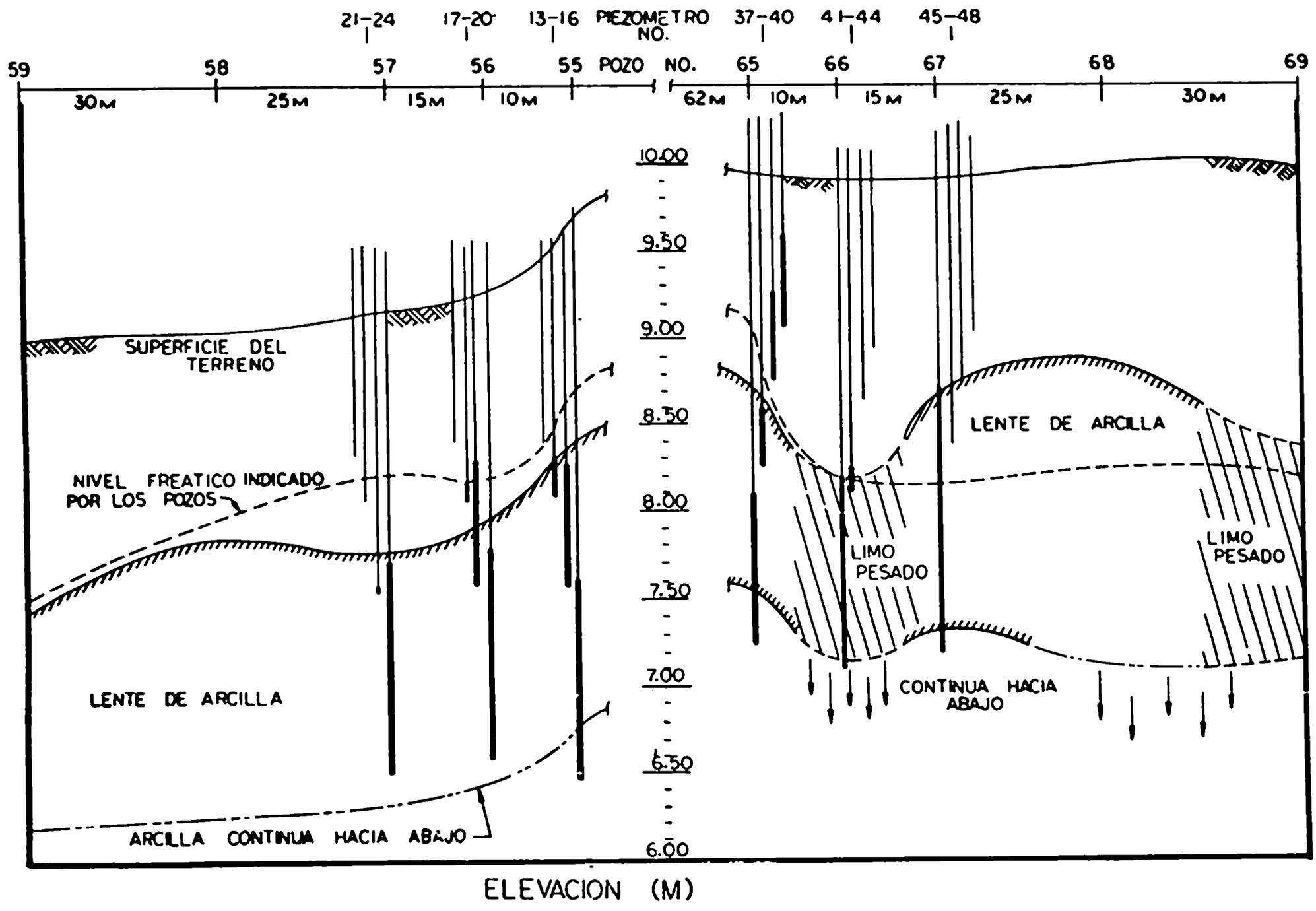


Fig. 24 Superficie del Agua en los Pozos y Nivel de Agua en los Piezómetros, Día No. 24.

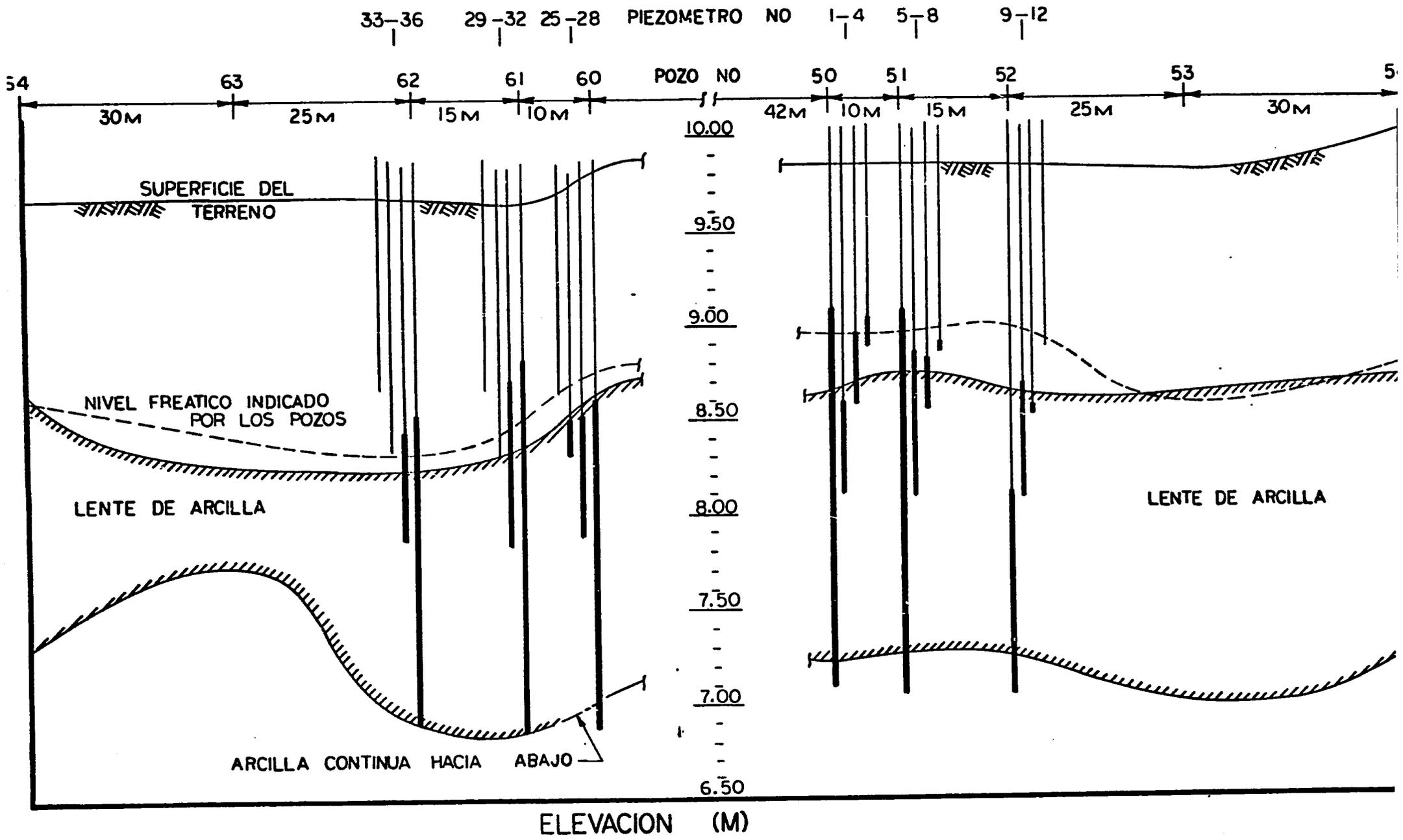


Fig. 25 Superficie del Agua en los Pozos y Nivel de Agua en los Piezómetros, Día No. 87.

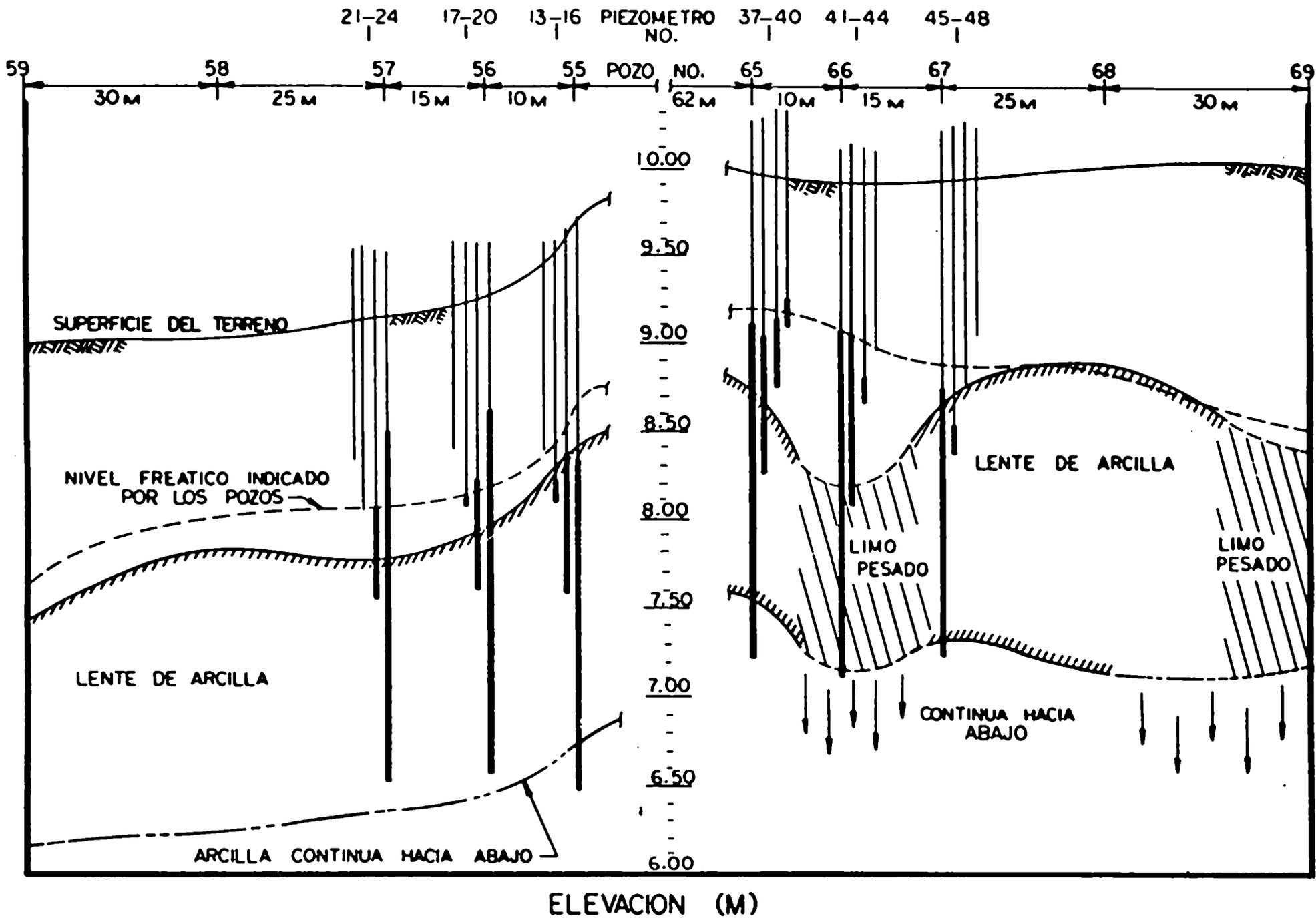


Fig. 26 Superficie del Agua en los Pozos y Nivel de Agua en los Piezómetros, Día No. 87

ral de todas las lecturas en los piezómetros, y no por medio de las pocas excepciones.

Problemas en la Interpretación de los Datos

Como previamente se indicó uno de los problemas a ser estudiado en el programa de investigación es el referente a la necesidad de drenaje subterráneo suplementario, para facilitar el proceso de recuperación. Esta necesidad dependerá, en parte en la extensión y velocidad de aumento del "montículo" del agua del suelo alrededor de las parcelas de lavado como resultado de la aplicación del agua. Inicialmente se pensó que el graficar unas pocas secciones transversales tales como las que se mostraron en la figura No. 23 hasta la 26 sería suficiente para analizar la velocidad del crecimiento del montículo. Sin embargo, este no demostró ser el caso. Debido a la baja velocidad de infiltración en las parcelas, la cantidad de agua que se mueve hacia las áreas circundantes fue relativamente pequeña. Los cambios en la elevación de la napa freática causados por la aplicación de agua para lavado fueron del mismo orden de magnitud que los causados por otros factores. Por ejemplo, la evaporación en la superficie y la transpiración en la vegetación (en tres lados de las parcelas) fueron probablemente factores importantes en limitar la extensión del montículo subterráneo de agua. La interpretación de los datos fue además complicada por la elevación general de la napa freática en el área debido a la infiltración de la lluvia hacia la parte final del período de medida, también debido a la contribución del agua subterránea de una fuente exterior probablemente del Canal del Dique.

Perfiles de la Napa Freática

Suponiendo por el momento que la superficie del agua dada por los pozos de observación es por lo menos aproximadamente correcta, algunos de los proble-

mas de interpretación de los datos pueden verse en la figura No. 23 a la 26. En la figura No. 22 puede verse la extensión del montículo del agua subterránea 24 días después de la iniciación del lavado. Allí aparece un gradiente del agua subterránea hacia afuera de las parcelas, sin embargo esto no es tan evidente en la figura No. 24, que muestra una sección transversal hecha en el mismo día pero perpendicular a la dirección de las anteriores. Los datos de los pozos 56 y 67 parecen indicar una "depresión" en la superficie natural del agua. En la figura No. 24 que muestra una sección transversal hecha 87 días después de la iniciación de lavado, la pendiente de agua subterránea adyacente a la parcela es hacia afuera. Sin embargo, 25 metros a un lado de las parcelas y 50 metros al otro lado, la pendiente es hacia adentro. No es claro de estas figuras, cuánto del aumento de la napa freática por encima de la capa de arcilla es el resultado del efluente de las parcelas de lavado y cuánto es como resultado de la precipitación natural que se infiltra dentro del suelo en el área alrededor de las parcelas.

Fluctuaciones de la Napa Freática

La figura No. 27 muestra hidrogramas del nivel del agua de los pozos 45, 64, y 69 junto con el record diario de lluvia durante el período de observación. Estos pozos fueron situados cada uno a 81 metros de las parcelas y sus respectivas filas de pozos fueron las menos propensas a ser influenciadas por el efluente de las parcelas. Puede verse que los tres pozos fluctuaron considerablemente y tuvieron un aumento general en el nivel de agua al final del período, en comparación con el principio. Para separar los efectos de las parcelas de lavado en la fluctuación de la napa freática, de los causados por infiltración de lluvia, el pozo más distante de la parcela en cada fila de pozos fue usado como pozo de referencia y la diferencia fue tomada entre los otros pozos y el

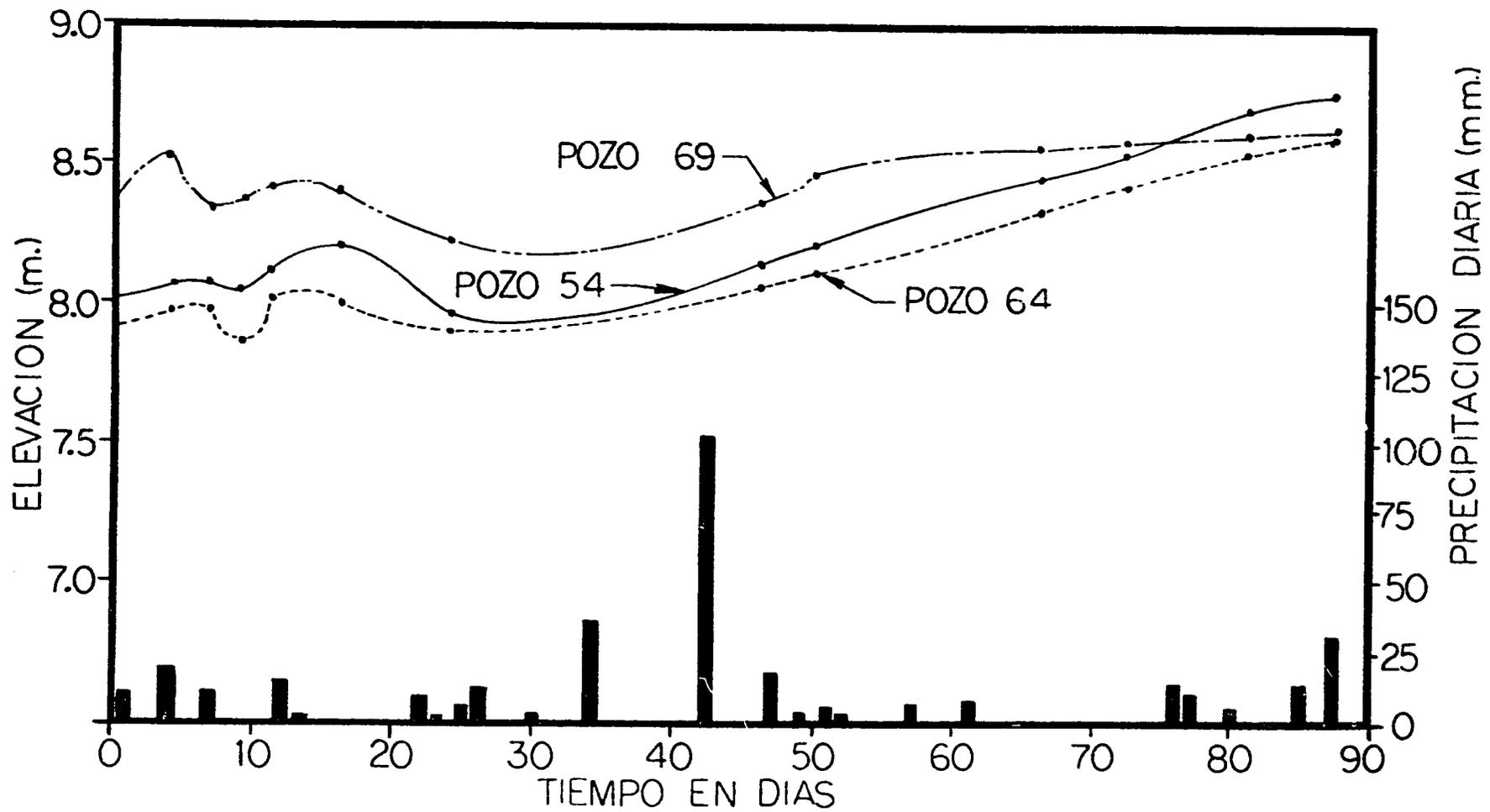


Fig. 27 Hidrogramas del Nivel de Agua en los Pozos 54, 64 y 69, y Registro Diario de Lluvia.

pozo de referencia. Figuras Nos. 28, 29 y 30 muestran los resultados de estas computaciones.

Desarrollo del Montículo del Agua Subterránea

Examinando la figura No. 28 puede verse que el montículo del agua subterránea alrededor de la parcela había alcanzado al pozo 50 dentro de los dos o tres días después de la iniciación de lavado. El montículo se extendió hasta el pozo 51 o más allá. Para que tenga lugar flujo hacia afuera de las parcelas de lavado, la gradiente del agua subterránea debe inclinarse hacia afuera de las parcelas. Siendo este el caso, la elevación relativa en el pozo 50 debiera ser más alta que la del pozo 51, y esta a su vez más alta que la del pozo 52, etc. Después del 65° día, realmente este vino a ser el caso. Sin embargo, debe notarse de la figura No. 28 que después del 70° día, el nivel del pozo 53 fue realmente más bajo que en el pozo 54, indicando una gradiente de entrada hacia la parcela. La diferencia en la elevación en todos los pozos es muy reducida hacia el final del período de medida.

La figura No. 29 muestra que en el lado opuesto de las parcelas, el montículo del agua subterránea ya se había extendido hacia el pozo 60 al momento de la medida inicial. Entre los 10 y 15 días más tarde el montículo se extendió diez metros más hacia el pozo 61. Aparentemente nunca alcanzó el pozo 62 ó 63. La figura No. 30 muestra un patrón similar al que se desarrolló en la figura No. 28. El nivel del agua del pozo adyacente a la parcela se elevó bruscamente 2 ó 3 días después de la inundación. Alguna vez entre los días 30 y 40 el montículo del agua subterránea pudo haberse extendido unos diez metros adicionales de la parcela al pozo 66. Sin embargo, la relativa elevación en el nivel del pozo 66 puede ser atribuida a la fuerte lluvia que tuvo lugar en el 43° día y el hecho que la superficie del terreno cerca del pozo 66 fue bastante areno-

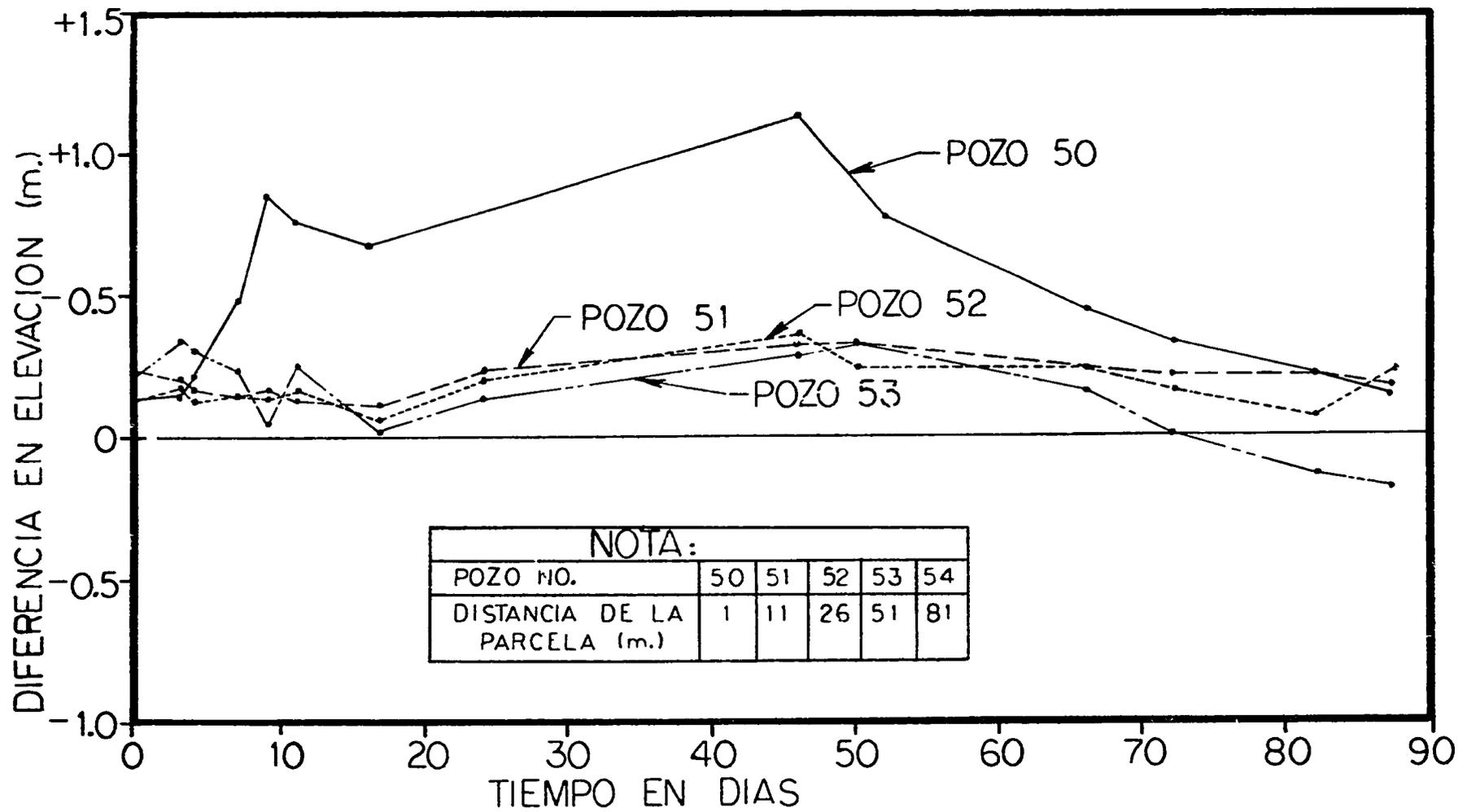


Fig. 28 Diferencias Relativas de Elevación del Agua en los Pozos con Referencia al Pozo 54.

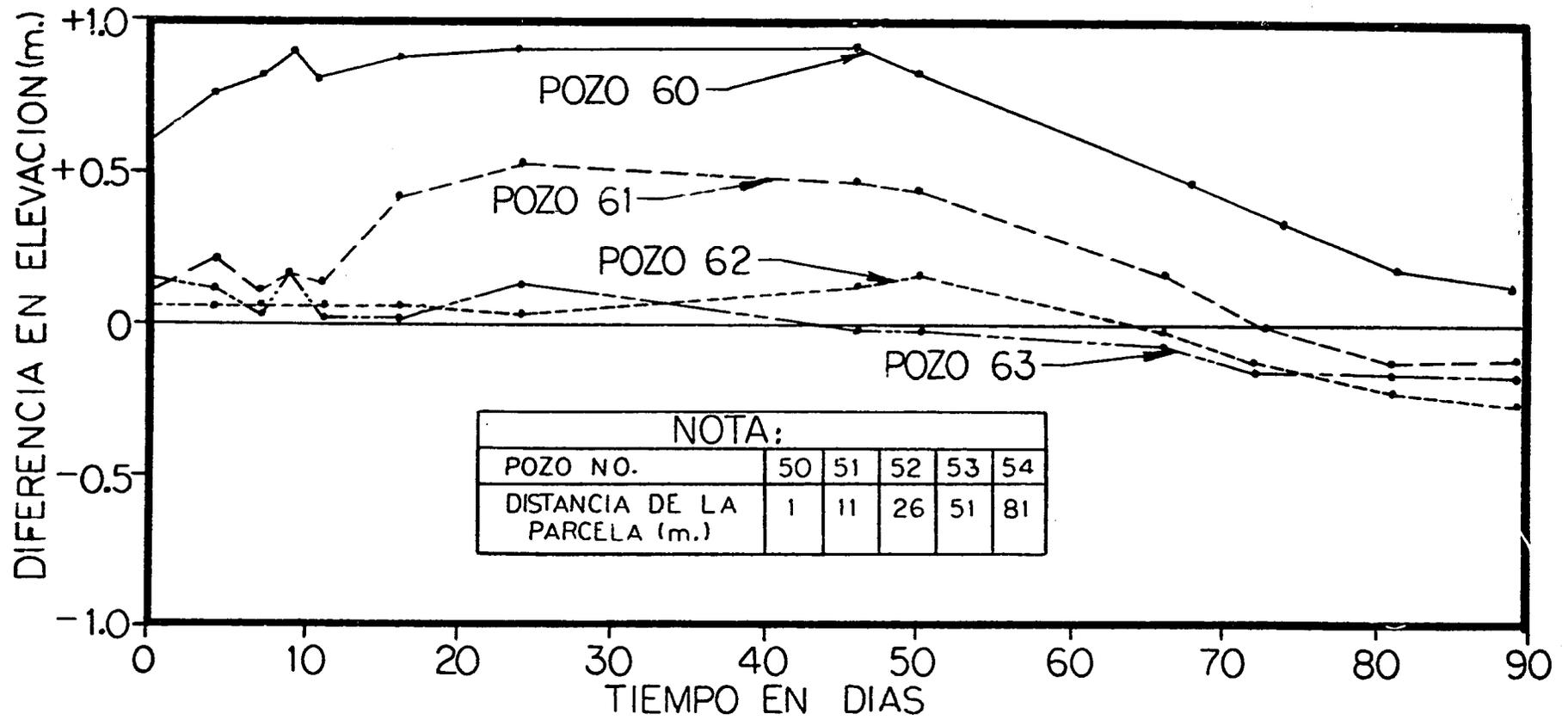


Fig. 29 Diferencias Relativas de Elevación del Agua en los Pozos con Referencia al Pozo 64.

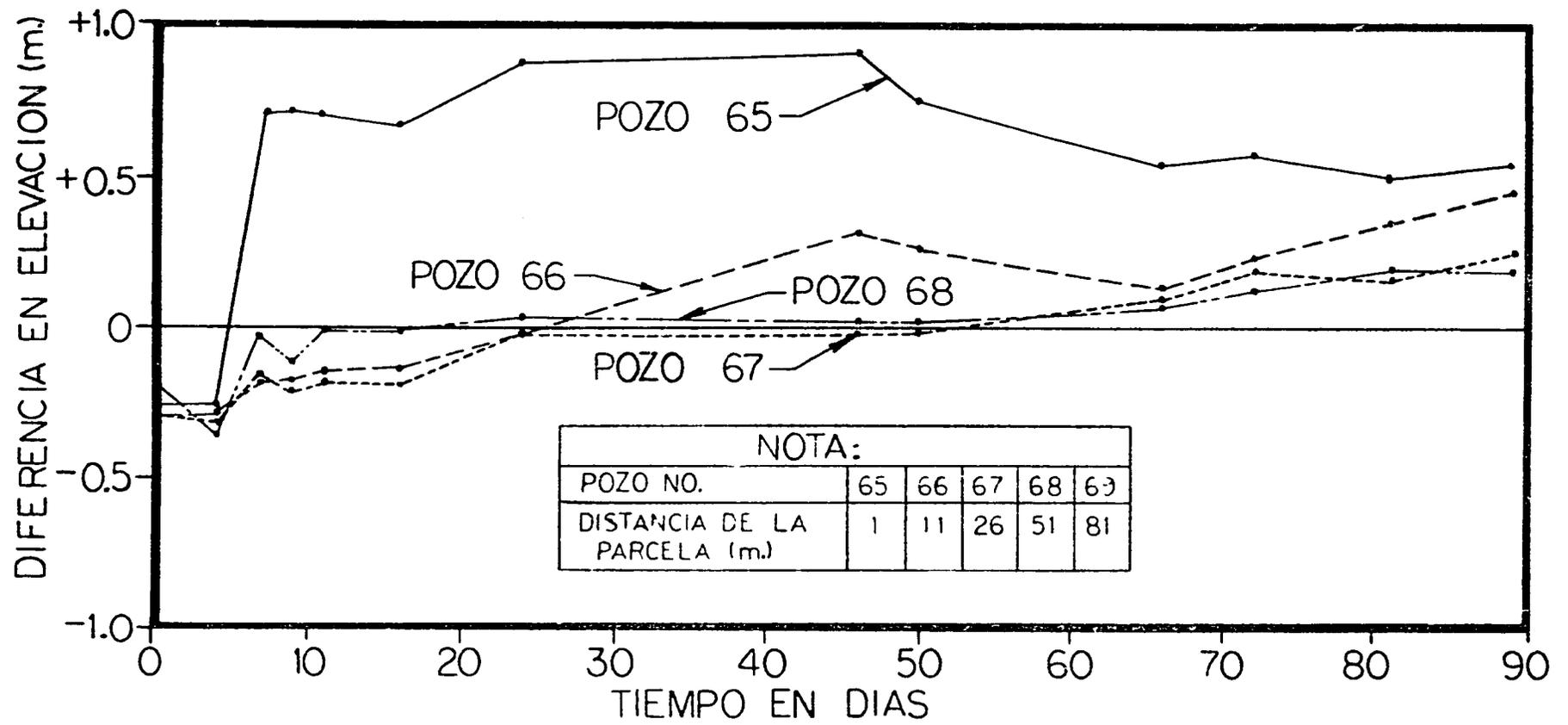


Fig. 30 Diferencias Relativas de Elevación del Agua en los Pozos con Referencia al Pozo 69.

sa permitiendo que se infiltrase una considerable cantidad de lluvia cerca del pozo. El aumento relativo en la elevación de los pozos 67 y 68 que comienza aproximadamente en el día 65, tal vez se debe a la misma causa ya que la velocidad de infiltración en el lugar de esos pozos fue mucho más alta que en la proximidad del pozo 69.

Gradiente Hidráulica Vertical

Aproximadamente 45 a 50 días después de iniciado el lavado, la magnitud de las gradientes descendentes comenzaron a decrecer, como lo indican las baterías de piezómetros. Esto corresponde a una fuerte lluvia en el área, y sin duda refleja el efecto en la napa freática de la infiltración que tiene lugar en aquel momento. Sin embargo las gradientes verticales continuaron descendiendo hasta el final del período de medida. Es bastante dudoso que esto fuera el resultado de una fuerte lluvia que tuvo lugar. Las figuras 31, 32, 33 y 34 son cuadros de la gradiente vertical entre los piezómetros de 200 y 300 cms. Con relación al tiempo. Las gráficas fueron hechas para todos los piezómetros profundos, que se instalaron en el experimento. Con la excepción de los piezómetros 30 - 31 y 42 - 43, las instalaciones de todos los piezómetros mostraron la misma tendencia comenzando al mismo tiempo. Efectivamente, al final del período de medidas diez de los doce pares mostraron una gradiente positiva ascendente. La tendencia de los otros dos indica que pudieron llegar a ser positivas después de un corto período de tiempo.

La reversión de la gradiente al nivel de los piezómetros profundos, indica un levantamiento general en la napa freática sobre el área. Los registros de lluvia no indican suficiente balance entre la precipitación y evapotranspiración durante el período para causar un cambio en la magnitud en que fue medida. Sin una información adicional no es posible evaluar positivamente la razón del cam-

bio . Sin embargo, probablemente se debió a la afluencia del agua subterránea dentro del área del Canal del Dique (aproximadamente a 1 kilómetro de las parcelas) el cual estuvo en una etapa de creciente muy alta durante aquel tiempo, cuyo nivel atrás del dique estuvo realmente por encima de la superficie del terreno de los campos contiguos. Cualquiera que sea la fuente, una continuación de la gradiente ascendente en cualquier período de tiempo, sería suficiente para mover algunas de las sales más bajas a través de la capa de arcilla y hacia el perfil del suelo encima de esta zona.

Como se indicó previamente, los canales de drenaje no estuvieron conectados a una salida durante el período de estudio. Esto fue significativo, en cuanto concierne a las medidas del agua subterránea durante el último mes de la colección de los datos. Cuando el nivel general del agua superficial se elevó como ya se describió previamente, el nivel fue también alto en los canales. Si ellos hubieran estado conectados a una salida es posible que la reversión de la pendiente a través de la arcilla no hubiera ocurrido. Sin embargo, esto dependería de la permeabilidad del suelo bajo la napa freática, por ahora aún desconocida.

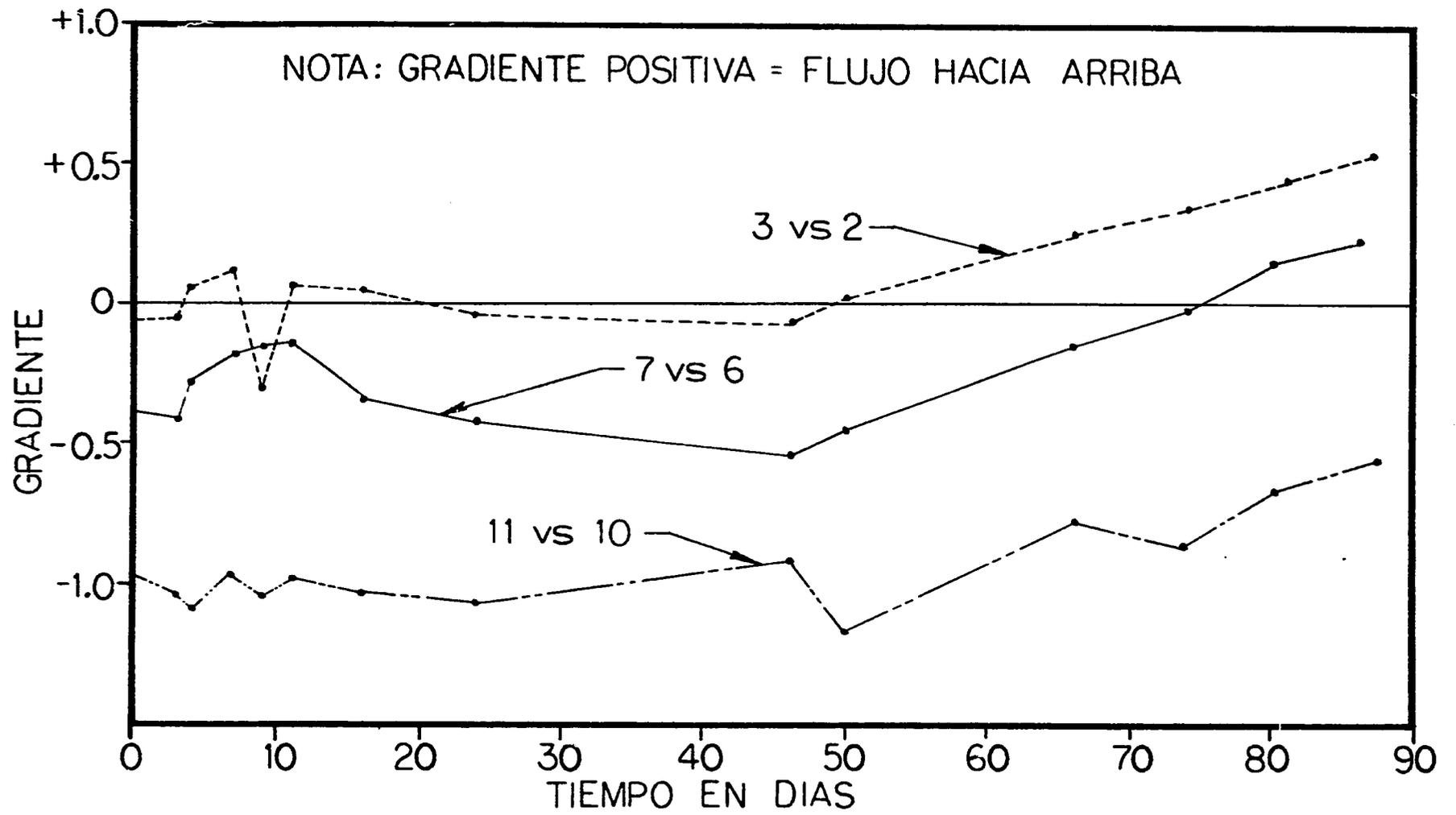


Fig. 31 Gradiente Vertical Entre los Piézómetros a 300 y 200 cm.

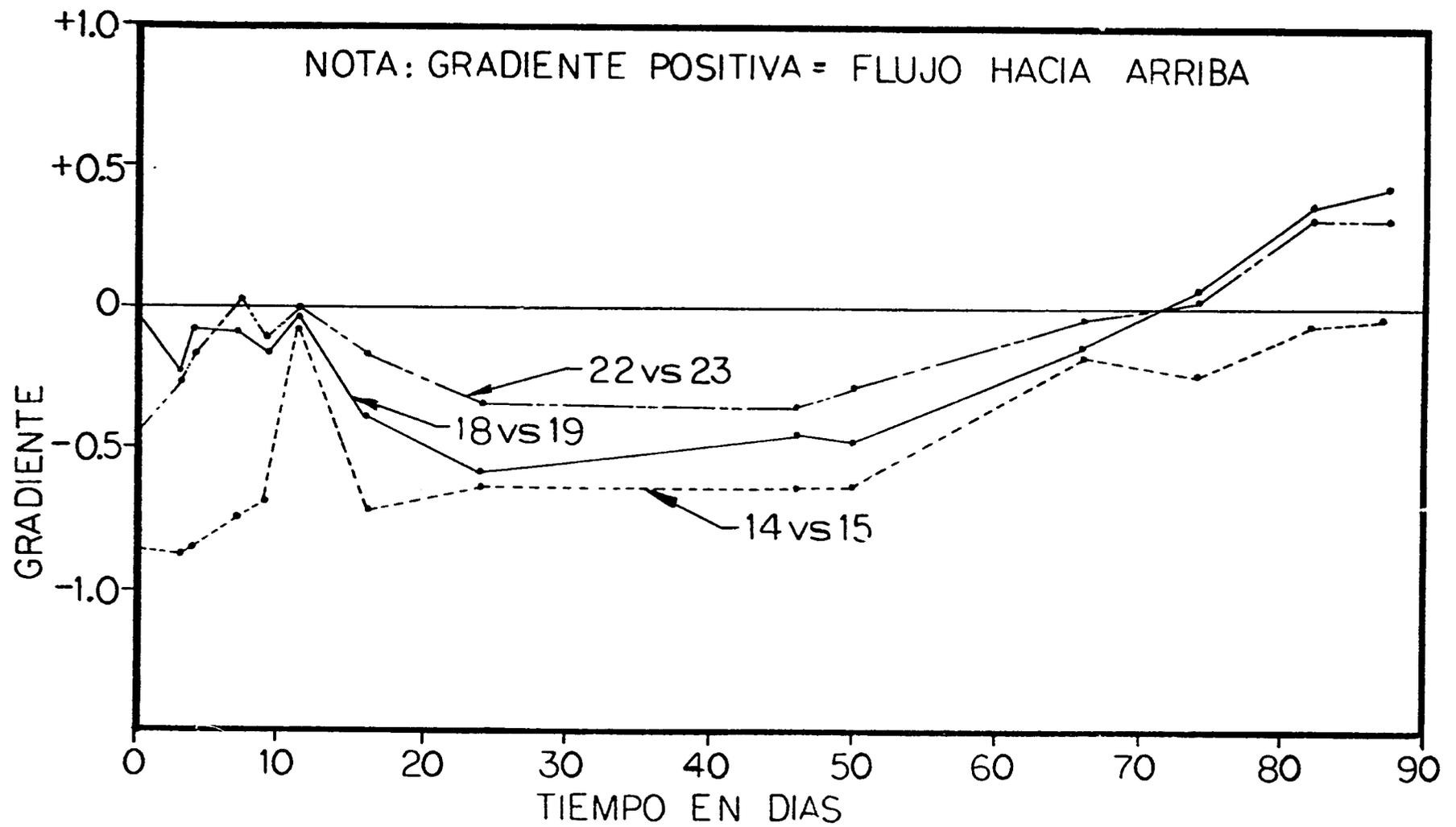


Fig. 32 Gradiente Vertical Entre los Piézómetros a 300 y 200 cm.

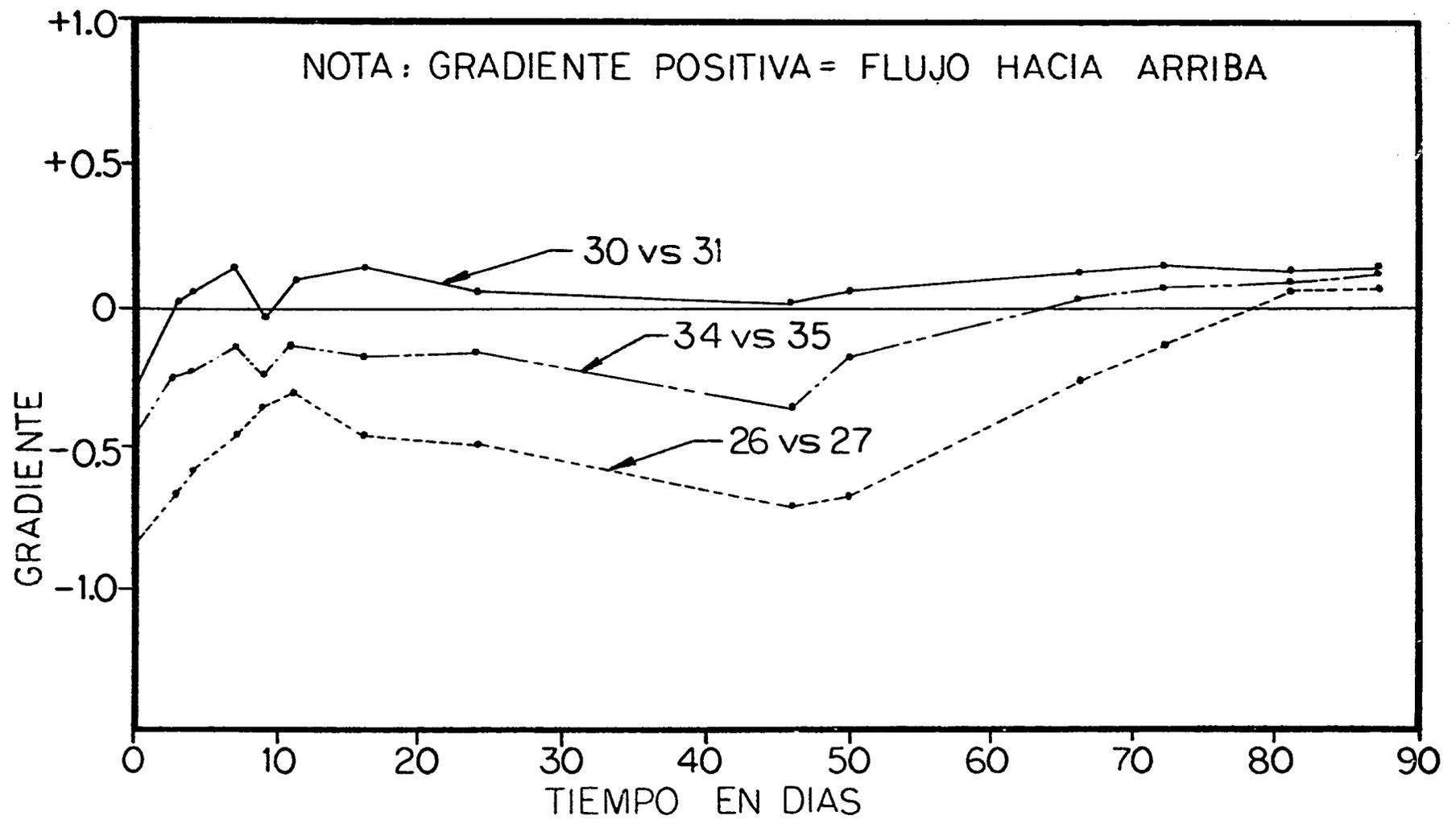


Fig. 33 Gradiente Vertical Entre los Piézómetros a 300 y 200 cm.

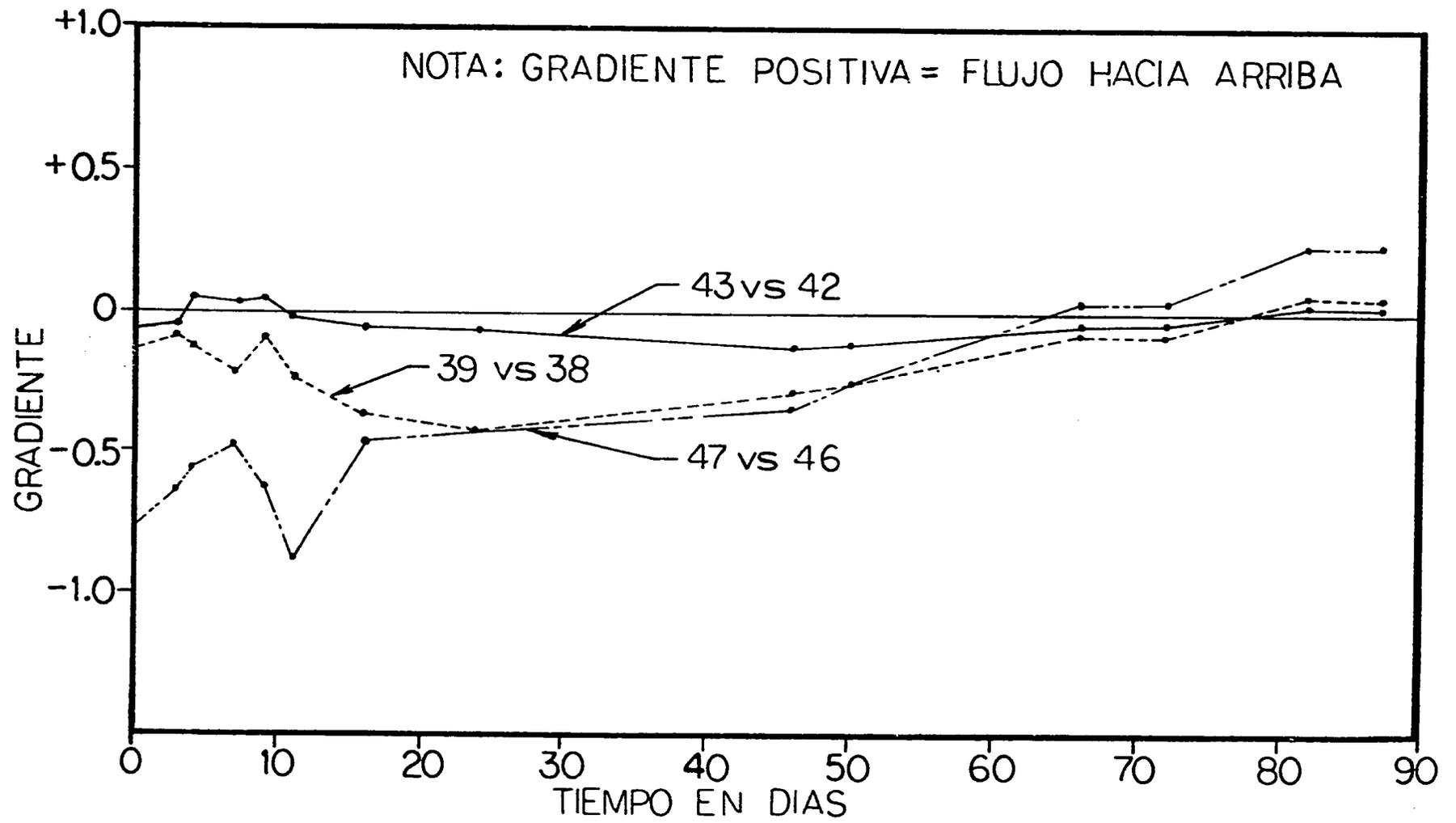


Fig. 34 Gradiente Vertical Entre los Piézómetros a 300 y 200 cm.

LA SALINIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA
EN LOS ALREDEDORES DE LAS PARCELAS DE LAVADO

La figura No. 35 muestra las variaciones en el tiempo del promedio de la conductividad eléctrica de las muestras de agua tomadas de los pozos de observación y de los piezómetros profundos y superficiales. Muchos puntos interesantes pueden ser notados en la figura. Aunque la concentración de las sales varía con el tiempo en todas las fuentes de muestreo, la conductividad del agua de los piezómetros profundos se mantuvo relativamente constante. Realmente, una menor dilución de la concentración fue notada con la presencia de la napa freática ascendente hacia el final del período de medida. Al extremo opuesto la conductividad de las muestras de piezómetros superficiales fluctuó radicalmente durante el estudio. Un período de una concentración muy alta que ocurre aproximadamente el día 25 coincide con un tiempo en que la evapotranspiración de la vegetación en crecimiento cerca de los pozos de observación había hecho descender la napa freática, concentrando las sales en la región del pozo. Por el contrario las bajas concentraciones medidas hacia el final del período de observación corresponden a la elevación máxima de la napa freática. Es interesante notar que la concentración de las muestras tomadas en los pozos parece seguir muy cercanamente el promedio de la profundidad de los piezómetros superficiales. Esto no es realmente sorprendente. Debido a que la mayoría de los pozos penetraron el fondo de la capa de arcilla y debido a que, hubo una fuerte gradiente hidráulica vertical durante la mayor parte del período de observación, los pozos realmente sirvieron como un "conducto" para que el agua pudiera fluir de la zona permeable arriba de la arcilla hasta la zona permeable por debajo de ella. Efectivamente, esto mezcló las aguas subterráneas de ambas zonas.

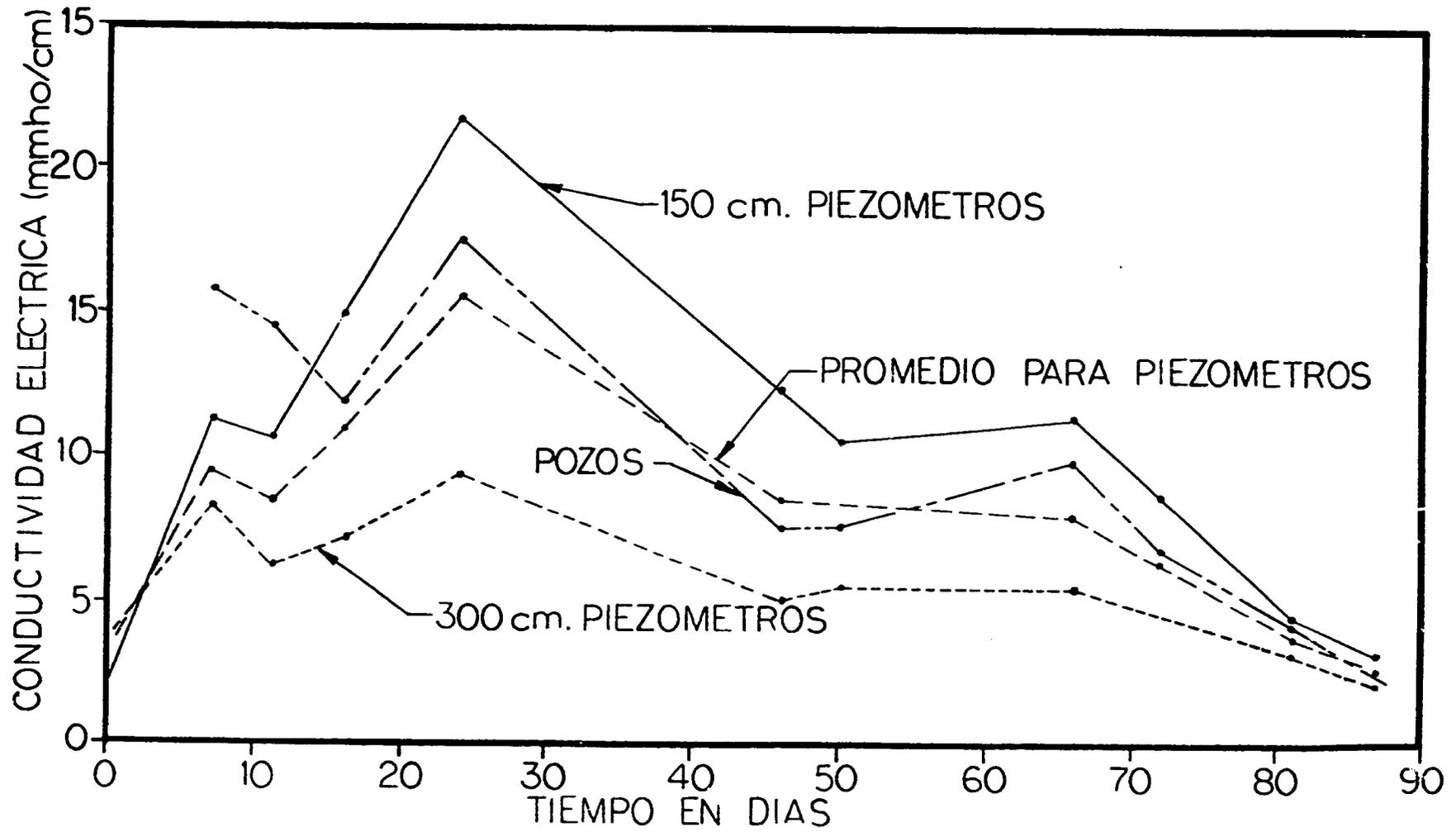


Fig. 35 Conductividad Eléctrica Promedio del Agua Proveniente de Pozos de Observación y de los Piézometros Profundos y Superficiales.

IMPLICACIONES DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

Limitaciones

El experimento discutido en este informe fue diseñado solamente como estudio piloto de los problemas de recuperación en los suelos aluviales de textura mediana del proyecto. No se espera, por consiguiente, que del limitado estudio que se ha hecho, se consigan conclusiones amplias y generales. Naturalmente, cualquier conclusión que se haga por el momento en este tiempo debe ser solamente tentativa debido a los varios factores limitantes.

1. Los datos del muestreo del suelo efectuado después de la segunda aplicación de 500 mm. de agua, todavía no están disponibles.
2. No ha sido posible todavía obtener una medida satisfactoria del estado del sodio en los suelos del sitio experimental.
3. Los suelos aluviales no son muy homogéneos con respecto a las características del perfil, siendo ambos bastante variables tanto verticalmente como en el área.

Los problemas de salinidad son igualmente desiguales de un punto a otro. Por consiguiente debe tenerse cuidado en generalizar acerca de la solución de un problema amplio basándose en estudios en un solo sitio. A pesar de estas dificultades y limitaciones, algunas apreciaciones pueden ser obtenidas de los resultados experimentales, asumiendo que el sitio que se estudió fue bastante típico de los suelos con problemas de salinidad en el perfil de la parte superior.

Posible Reducción de la Salinidad

Los limitados ensayos de campo que se informan demostraron que una sustancial reducción en la salinidad del suelo puede ser obtenida hasta cierto punto con una limitada cantidad de agua que se pase a través del suelo. El lavado de

las áreas salinas parece ser factible considerando que se dominen ciertos obstáculos.

Velocidad de Infiltración

Si la recuperación de las áreas salinas ha de ser exitosa, uno de los más grandes problemas a resolver es el aumentar la velocidad de infiltración en la superficie del suelo. Debido a la naturaleza ondulada del microrelieve en el área del proyecto parece que será más factible efectuar el lavado usando la irrigación por aspersión. Esto no sería posible, sin embargo, a menos que pudiera hacerse algo para mejorar las características de infiltración de los suelos afectados. Muchas de las áreas salinas tienen una velocidad menor que la velocidad mínima de aplicación, de 2.5 a 3 milímetros por hora, que es posible con pequeños aspersores actualmente disponibles. Cualquier intento para lavar sin efectuar un aumento en la velocidad de infiltración solo serviría para crear el problema de escorrentía que fue ilustrado en la figura No.16.

Si las posteriores medidas muestran que el problema de infiltración es atribuido en parte a un problema de sodio, posiblemente puede conseguirse algún aumento en la velocidad de infiltración sin el uso de mejoradores del suelo que son difíciles de obtener y son caros en el norte de Colombia. La alternativa puede ser arar a una profundidad de 30 a 35 cms. para romper la capa densa de la superficie, que es característica en la mayoría de las áreas salinas. Esto puede aumentar suficientemente la velocidad de infiltración para permitir una aplicación inicial tal vez de 15 a 20 cms. de agua. A su vez, esto proveería suficiente lavado para estimular el rápido crecimiento de la vegetación natural, como fue demostrado en el experimento. La subsecuente penetración en el suelo, de las raíces de plantas en crecimiento podría mantener la velocidad de infiltración suficientemente alta en la superficie, como para permitir

una aplicación intermitente de agua de lavado por medio de aspersión. El autor confía en este sentido. Las áreas con vegetación incluidas en las parcelas de lavado parecen ser más típicas de los suelos afectados por la salinidad en la parte superior del perfil, que aquellas áreas que estuvieron totalmente desnudas. Esto sugiere que la velocidad de infiltración básica en muchos de los suelos salinos puede ser ligeramente más alta que el promedio de velocidad medido en las parcelas experimentales. La mayoría de las áreas afectadas por la sal están ahora cubiertas por "clavito" mal desarrollado, una especie tolerante a la sal que crecerá abundante con solo una moderada reducción del contenido de la sal de la superficie. Esta vegetación probablemente encontrará los requerimientos iniciales para cubrir con plantas la superficie durante el proceso de recuperación. Con el progreso de la recuperación es probable establecer una cubierta permanente de pasto en las áreas afectadas de los huertos para conservar abiertos los perfiles superficiales. Sin el desarrollo de una cubierta de plantas bien dotadas de raíces, es dudoso que pueda mantenerse una mayor velocidad de infiltración.

Debe anotarse que los arados de disco de un solo sentido que se están manufacturando en Colombia son inadecuados para el trabajo de arado que debe hacerse. Un arado ordinario o arado de vuelta es más adecuado para la tarea.

Necesidad de Drenaje Subterráneo Adicional

Parece que un drenaje subterráneo adicional, probablemente en la forma de tubería enterrada, será necesario si se espera conducir exitosamente las operaciones de lavado. En el tipo II de suelo, todos los sitios examinados que mostraron evidencia de problema de salinidad en el perfil de la superficie, también mostraron evidencia de permeabilidad vertical reducida en algún punto dentro de los dos metros de la superficie del suelo. Si este es verdaderamente el caso de la mayoría de las manchas salinas en los suelos de textura mediana y

ligera y si los resultados del sitio experimental son representativos, no parece factible intentar operaciones de lavado sin la instalación de un drenaje subterráneo suplementario. El lavado sin una instalación adicional de drenes serviría solamente para mover las sales hacia mejores suelos que rodean el área salina y transferir así el problema de una ubicación a otra, como fue demostrado por los datos experimentales.

Problemas en Análisis de Suelo

Uno de los problemas con el que se tropezó en el curso del trabajo fue el obtener análisis completos de las muestras de suelo de las parcelas. El laboratorio en el Centro de Operaciones del Proyecto está bien equipado para estimar el total de sales en extractos de saturación. Sin embargo no tiene equipo para hacer determinaciones de capacidad de cambio y estado del sodio. La alternativa actual de enviar las muestras al laboratorio de Palmira toma tanto tiempo, que es casi impracticable.

La situación en el Atlántico-3 es tal que deben analizarse centenares de muestras para determinar la localización de áreas afectadas por sodio y la magnitud del problema en cada una. Esto no puede hacerse hasta no tener un sistema por el cual las muestras sean rápidamente analizadas para guiar a los técnicos que trabajan en el campo.

Parece que una solución lógica del problema sería obtener una limitada cantidad adicional de equipo de laboratorio para el proyecto. Hasta que esto no se haga, los estudios de recuperación serán muy lentos y se mantendrán considerablemente atrás de las necesidades de información de los planificadores y agrónomos.

RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS POSTERIORES

Basado en los resultados del estudio piloto que ha sido terminado, se recomienda que el siguiente trabajo de campo sea emprendido para cuantificar las variables que deben ser consideradas en planificar un programa de recuperación de los suelos de textura ligera y mediana.

Caracterización de las Areas Salinas

La primera parte del programa debe contener un estudio amplio de las características de las áreas afectadas por la sal. Esto puede ser hecho en un período de tiempo bastante corto, teniendo cuidado que no haya demora en obtener los análisis del laboratorio de muestras de suelo a ser colectadas. El estudio debe incluir medidas de : a) Velocidad de infiltración, b) gravedad específica aparente en los 30 cms. de la parte superior del perfil, c) estado de salinidad y sodio del perfil del suelo, y d) profundidad y espesor de las capas que impiden el flujo vertical del agua. (Si es posible, debe ser determinada la permeabilidad vertical de la capa de referencia.) También debe hacerse una determinación de las especies y condiciones de la vegetación de la superficie en relación al contenido de sal en el suelo. Deben ser establecidos así mismo los límites de las áreas salinas en relación con la magnitud de los horizontes del suelo de baja permeabilidad. Indudablemente pueden usarse gran parte de algunos de los datos ya recolectados por INCORA.

Experimento de Recuperación

Basado en los estudios arriba descritos, debe desarrollarse un programa intensivo en un sitio juzgado como típico de las áreas salinas. Tubería de drenaje debe ser instalada por lo menos en dos diferentes espaciamientos. Tratamientos de la superficie, incluyendo labranza profunda, deben ser impuestos en

el área. Si los análisis químicos de las muestras del suelo indican algún problema de sodio deberán hacerse también tratamientos con correctores del suelo. Usando aspersores de baja velocidad de aplicación debe aplicarse agua de lavado a algunas parcelas. Debe mantenerse un registro de la cantidad de agua aplicada, la cantidad de agua y sal removida a través de los drenes, y por medio de un muestreo periódico del suelo, la velocidad de mejoramiento de las condiciones del perfil del suelo debe ser determinada. La efectividad de los diferentes tratamientos superficiales y con mejoradores para mantener una velocidad de infiltración razonable debe ser evaluada. El uso de piezómetros así como también de pozos de observación para determinar las condiciones de la napa freática será esencial. Debe también determinarse el espaciamiento máximo de los drenes para un lavado adecuado.

APENDICE
DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 1. Conductividad Eléctrica de los Extractos de Saturación del Suelo, Antes y Después del Lavado (mmhos/cm)

Número del Perfil		Incrementos de Profundidad (cm)									
		0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240	240-270	270-300
2	Antes	3.0	2.6	4.3	13.0	14.0	7.2	--	--	--	--
	Después	4.0	1.9	8.5	5.2	9.5	17.0	--	--	--	--
3	Antes	33.5	21.5	26.0	24.5	20.0	8.0	--	--	--	--
	Después	9.0	7.4	19.2	17.3	34.0	25.0	--	--	--	--
4	Antes	23.0	18.5	18.0	14.0	9.0	14.0	--	--	--	--
	Después	5.0	16.5	23.5	34.5	22.5	25.8	--	--	--	--
5	Antes	40.0	23.5	21.0	--	18.0	7.0	--	--	--	--
	Después	212.5	40.0	42.0	32.0	30.0	24.0	--	--	--	--
6	Antes	15.0	8.0	6.8	8.5	13.8	7.5	--	--	--	--
	Después	21.0	14.0	10.2	17.5	19.5	22.5	--	--	--	--
7	Antes	5.2	8.0	21.0	17.3	20.0	13.0	--	--	--	--
	Después	12.0	6.8	14.5	16.5	22.0	18.5	--	--	--	--
8	Antes	16.0	16.0	15.3	19.5	17.0	19.0	--	--	--	--
	Después	21.0	15.0	10.7	19.0	26.5	28.0	--	--	--	--
9	Antes	31.5	14.5	16.0	16.3	13.3	31.5	5.0	3.5	27.1	45.0
	Después	120.0	28.0	25.0	23.5	27.5	23.5	--	--	--	--
10	Antes	2.4	22.0	13.0	20.0	12.5	5.8	--	--	--	--
	Después	167.5	31.5	23.3	21.0	25.5	22.5	--	--	--	--
11	Antes	22.5	20.0	21.0	18.0	11.5	12.3	--	--	--	--
	Después	14.0	20.0	20.0	18.8	23.7	19.0	--	--	--	--
12	Antes	55.0	31.5	31.5	26.5	10.0	15.0	--	--	--	--
	Después	6.0	27.5	15.0	22.5	18.5	16.5	--	--	--	--
13	Antes	3.0	3.6	11.0	17.8	9.3	5.7	5.8	5.2	3.6	2.7 g
	Después	6.0	6.0	8.0	6.5	14.5	5.2	--	--	--	--

Tabla 1. (Continuación)

Número del Perfil		Incrementos de Profundidad (cm)									
		0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240	240-270	270-300
14	Antes	6.8	13.5	16.5	17.0	5.5	6.4	--	--	--	--
	Después	6.0	6.7	7.5	8.0	5.0	10.0	--	--	--	--
15	Antes	42.5	13.5	22.0	19.0	13.3	7.8	--	--	--	--
	Después	3.7	5.9	13.0	7.0	19.0	14.0	--	--	--	--
16	Antes	2.7	3.4	8.5	10.8	12.3	16.5	18.0	4.7	3.1	2.2
	Después	2.3	3.2	3.0	5.2	5.6	5.6	--	--	--	--
17	Antes	2.2	1.7	4.4	12.3	18.0	4.5	--	--	--	--
	Después	20.0	16.5	24.5	32.5	35.0	35.0	--	--	--	--
18	Antes	21.3	25.5	25.0	3.0	25.0	8.5	--	--	--	--
	Después	22.5	27.5	17.5	18.0	24.4	34.0	--	--	--	--
19	Antes	61.0	35.0	36.5	25.0	16.0	8.5	--	--	--	--
	Después	165.0	26.0	40.0	44.0	41.0	27.5	--	--	--	--
20	Antes	9.0	7.7	14.0	17.0	19.5	20.0	--	--	--	--
	Después	13.5	7.5	14.5	12.5	22.5	34.0	--	--	--	--
21	Antes	4.0	19.0	3.2	25.0	30.0	19.0	--	--	--	--
	Después	--	17.0	25.0	30.0	29.0	33.5	--	--	--	--
22	Antes	1.2	0.7	1.9	3.4	17.0	8.5	--	--	--	--
	Después	220.0	20.0	27.0	17.0	23.5	23.5	--	--	--	--
23	Antes	17.5	29.5	--	21.0	24.5	20.0	--	--	--	--
	Después	1.4	1.1	2.6	3.2	4.0	5.4	--	--	--	--
24	Antes	13.8	16.0	12.5	12.0	7.0	5.0	--	--	--	--
	Después	4.5	5.6	5.2	5.1	5.4	5.4	--	--	--	--
25	Antes	0.9	0.4	0.7	1.8	18.0	16.5	--	--	--	--
	Después	1.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	--	--	--	--

Tabla 2. Elevaciones del Nivel del Agua en los Pozos (en metros)

Número de Pozo	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Longitud del tubo en cm.	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Elevación del extremo superior del tubo	10.000	10.130	10.190	10.110	10.345	9.970	9.645	9.505	9.255	9.335
Elevación de la superficie del terreno	9.840	9.885	9.860	9.795	10.035	9.725	9.260	9.165	9.055	9.005
	Elevaciones									
Días Después de la Lectura Inicial (Lectura Inicial Agosto 25, 1969)										
0	8.180	8.250	8.180	8.230	8.025	8.530	8.245	8.085	7.705	7.515
3	8.190	8.230	8.220	8.380	8.025	8.750	8.275	8.195	7.865	7.585
4	8.300	8.250	8.230	8.390	8.085	8.980	8.395	8.265	7.805	7.575
7	8.670	8.220	8.230	8.310	8.085	8.930	8.335	8.175	7.765	7.525
9	8.930	8.230	8.210	8.110	8.055	8.970	8.345	8.195	7.795	7.395
11	8.920	8.280	8.300	8.410	8.135	--	--	--	--	--
16	8.910	8.320	8.290	8.310	8.215	9.110	8.625	8.635	8.455	7.575
24	8.830	8.210	8.190	8.110	7.975	8.740	8.165	8.225	7.985	7.495
43	9.140	8.400	8.230	8.370	8.165	9.220	8.915	9.015	9.015	7.505
46	9.300	8.490	8.530	8.460	8.165	9.090	8.565	8.805	8.355	7.595
50	9.000	8.540	8.470	8.530	8.215	9.030	8.595	8.595	8.315	7.645
66	8.930	8.720	8.710	8.650	8.475	8.770	8.305	8.275	8.145	7.635
72	8.890	8.760	8.710	8.600	8.555	8.680	8.205	8.155	8.065	7.615
81	8.910	8.910	8.790	8.580	8.705	8.670	8.175	8.105	8.085	7.645
87	8.950	8.960	9.000	8.600	8.785	8.700	8.185	8.085	8.055	7.635

Tabla 2. (Continuación)

Número de Pozo	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Longitud del Tubo en cm.	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Elev. del extremo superior del Tubo	10.115	9.900	10.075	10.055	10.020	10.245	10.185	10.185	10.350	10.225
Elev. de la Superficie del Terreno	9.835	9.655	9.680	9.650	9.665	9.955	9.915	9.920	9.990	9.975
	Elevaciones									
Días Después de la Lectura Inicial (Lectura Inicial Agosto 25, 1970)										
0	8.525	8.030	7.995	8.055	7.910	8.145	8.135	8.115	8.200	8.395
3	8.465	8.050	8.045	7.955	--	8.225	8.205	8.185	8.250	--
4	8.775	8.200	8.055	8.085	7.980	8.275	8.245	8.205	8.290	8.525
7	8.785	8.070	8.025	8.015	7.960	9.075	8.195	8.175	8.290	8.355
9	8.775	8.060	8.025	8.055	7.870	9.105	8.205	8.185	8.280	8.385
11	8.825	8.170	8.095	8.075	8.020	9.135	8.285	8.235	8.360	8.425
16	8.885	8.410	8.075	8.055	8.000	9.105	8.285	8.225	8.350	8.415
24	8.825	8.430	7.945	8.035	7.910	9.105	8.185	8.185	8.240	8.225
43	8.985	8.490	8.145	8.055	7.990	9.425	9.125	8.265	8.230	8.335
46	8.975	8.550	8.175	8.065	8.070	9.285	8.685	8.345	8.430	8.375
50	8.955	8.570	8.285	8.105	8.130	9.245	8.725	8.465	8.500	8.485
66	8.825	8.500	8.335	8.255	8.340	9.115	8.705	8.685	8.680	8.585
72	8.755	8.430	8.315	8.285	8.430	9.145	8.805	8.755	8.680	8.565
81	8.745	8.440	8.345	8.385	8.560	9.125	8.995	8.805	8.810	8.625
87	8.755	8.510	8.325	8.425	8.620	9.175	9.085	8.855	8.820	8.625

Tabla 3. Elevaciones del Nivel del Agua en los Piezómetros (en metros)

Número del Piezómetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Longitud del tubo en cm.	150	200	300	120	150	200	300	120	150	200
Elev. del extremo superior del tubo	10.120	10.105	10.090	10.085	10.050	10.085	10.055	10.070	10.045	10.065
Elev. de la superficie del terreno	9.895	9.895	9.895	9.895	9.815	9.815	9.815	9.815	9.810	9.810
	Elevaciones									
Días Después de la Lectura Inicial (Lectura Inicial Agosto 25,1969)										
0	8.640	8.205	8.130	8.755	8.480	8.275	7.865	8.760	8.545	8.265
3	8.630	8.145	8.090	8.795	8.520	8.215	7.795	8.750	8.635	8.265
4	8.740	8.135	8.210	9.005	8.590	8.245	7.965	seco	8.665	8.355
7	8.740	8.155	8.270	9.055	8.540	8.355	8.155	seco	8.615	8.305
9	8.590	8.465	8.160	9.135	8.510	8.185	8.035	8.690	8.505	8.145
11	8.720	8.185	8.260	9.155	8.540	8.335	8.195	8.740	8.545	8.265
16	8.860	8.225	8.290	9.085	8.700	8.565	8.225	8.840	8.605	8.385
24	8.920	8.225	8.190	9.085	8.680	8.585	8.155	8.730	8.525	8.435
43	9.180	8.365	8.290	9.365	8.930	8.775	8.255	9.090	seco	8.495
46	9.090	8.455	8.390	9.145	8.890	8.795	8.255	8.970	seco	8.575
50	9.100	8.505	8.510	9.185	8.930	8.885	8.425	8.930	seco	8.605
66	9.050	8.435	8.700	8.955	8.010	8.855	8.705	8.890	8.665	8.705
72	9.030	8.465	8.810	9.045	8.820	8.845	8.795	8.880	8.595	8.705
81	8.980	8.515	8.970	8.995	8.830	8.825	8.975	8.880	8.595	8.635
87	8.970	8.585	9.110	9.035	8.830	8.875	9.105	8.930	8.545	8.685

Tabla 3. (Continuación)

Número del Piezómetro	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Longitud del tubo en cm.	300	120	120	300	200	150	120	300	200	150
Elev. del extremo superior del tubo	10.055	10.115	9.595	9.470	9.575	9.585	9.615	9.610	9.595	9.550
Elev. de la superficie del terreno	9.810	9.810	9.350	9.350	9.350	9.350	9.295	9.295	9.295	9.295

Días Después de la Lectura Inicial (Lectura Inicial Agosto 25, 1969)	Elevaciones									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	7.315	8.745	seco	6.820	7.735	8.055	seco	7.700	7.705	8.170
3	7.225	seco	seco	6.820	7.765	8.155	seco	7.690	7.905	8.250
4	7.245	seco	8.365	6.930	7.835	8.315	seco	7.810	7.895	8.300
7	7.355	seco	8.385	7.130	7.945	8.345	seco	7.830	7.925	8.260
9	7.115	seco	8.335	7.270	8.025	8.395	seco	7.830	7.975	8.300
11	8.285	seco	--	--	--	--	--	--	--	--
16	7.355	seco	8.475	7.640	8.425	8.465	8.585	8.010	8.405	8.610
24	7.355	seco	8.345	7.620	8.295	8.305	seco	7.780	8.355	8.170
43	7.865	seco	8.575	7.790	8.245	8.585	8.835	7.990	8.455	8.860
46	7.665	seco	8.545	7.750	8.435	8.565	8.635	8.070	8.495	8.650
50	7.425	seco	8.485	7.790	8.465	8.535	8.525	8.090	8.575	8.590
66	7.905	seco	8.395	8.130	8.315	seco	seco	8.280	8.395	8.270
72	7.845	seco	seco	8.190	8.325	8.235	seco	8.370	8.285	8.190
81	7.955	seco	seco	8.270	8.315	8.185	seco	8.530	8.145	8.130
87	8.105	seco	seco	8.350	8.375	8.235	seco	8.640	8.225	8.110

Tabla 3. (Continuación)

Número del Piezómetro	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Longitud del tubo en cm.	120	300	200	150	120	300	200	150	120	300
Elev. del extremo superior del tubo	9.515	9.525	9.560	9.550	9.870	9.885	9.885	9.840	9.895	9.875
Elev. de la superficie del terreno	9.280	9.280	9.280	9.280	9.630	9.630	9.630	9.630	9.615	9.615
	Elevaciones									
Días Después de la Lectura Inicial (Lectura Inicial Agosto 25,1969)										
0	seco	7.175	7.640	8.100	seco	7.045	7.865	8.260	seco	7.465
3	seco	7.565	7.810	8.160	seco	7.215	7.875	8.320	seco	7.775
4	seco	7.625	7.780	8.220	seco	7.325	7.905	8.440	seco	7.845
7	seco	7.785	7.770	8.130	seco	7.485	7.915	8.460	seco	7.905
9	8.115	7.645	7.760	8.150	seco	7.535	7.885	8.540	seco	7.745
11	--	--	--	--	seco	7.715	8.015	8.570	seco	7.925
16	8.515	7.945	8.140	--	seco	7.755	8.235	8.640	seco	7.955
24	seco	7.725	8.070	--	seco	7.785	8.275	8.540	seco	7.965
43	8.845	7.875	8.180	--	8.700	8.115	8.565	8.730	seco	8.055
46	8.615	7.935	8.270	--	8.730	7.925	8.625	8.710	seco	8.095
50	8.515	8.025	8.330	--	seco	8.055	8.695	8.650	seco	8.265
66	8.325	8.195	8.260	--	seco	8.375	8.615	8.590	seco	8.485
72	seco	8.275	8.230	--	seco	8.425	8.555	8.510	seco	8.585
81	seco	8.435	8.010	--	seco	8.575	8.505	8.520	seco	8.695
87	seco	8.505	8.080	--	seco	8.605	8.535	8.510	seco	8.845

Tabla 3. (Continuación)

Número del Piezómetro	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Longitud del tubo en cm.	200	150	120	300	200	150	150	200	300	120
Elev. del extremo superior del tubo	9.845	9.860	9.870	9.815	9.875	9.850	10.260	10.255	10.265	10.285
Elev. de la superficie del terreno	9.615	9.615	9.620	9.620	9.620	9.620	10.005	10.005	10.005	10.005
	Elevaciones									
Días Después de la Lectura Inicial (Lectura Inicial Agosto 25, 1969)										
0	7.755	8.240	seco	7.435	7.875	seco	8.620	8.275	8.165	seco
3	7.755	8.310	seco	7.735	7.985	seco	seco	8.275	8.185	seco
4	7.805	8.400	seco	7.815	8.015	seco	8.760	8.355	8.235	9.445
7	7.765	seco	seco	7.865	7.985	seco	8.930	8.455	8.245	9.545
9	7.765	8.260	seco	7.675	7.905	seco	8.960	8.355	8.265	9.515
11	7.825	8.340	seco	7.875	8.005	seco	9.140	8.555	8.325	9.475
16	7.815	8.440	seco	7.895	8.075	seco	9.190	8.675	8.295	9.365
24	7.895	8.420	seco	7.915	8.075	seco	9.260	8.595	8.195	9.605
43	8.075	8.500	seco	8.045	8.125	seco	9.390	8.655	8.335	9.625
46	8.085	seco	seco	7.815	8.145	seco	9.230	8.675	8.385	9.565
50	8.185	8.560	seco	8.045	8.225	seco	9.300	8.745	8.475	9.535
66	8.375	seco	seco	8.335	8.305	8.360	9.200	8.795	8.715	9.335
72	8.435	seco	seco	8.395	8.325	8.360	9.280	8.865	8.775	9.415
81	8.595	seco	seco	8.485	8.395	8.360	9.190	8.955	9.015	9.285
87	8.705	seco	seco	8.535	8.435	8.350	9.160	9.055	9.105	9.255

Tabla 3. (Continuación)

Número del Piezómetro	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Longitud del tubo en cm.	150	200	300	120	150	200	300	120	120
Elev. del extremo superior del tubo	10.150	10.120	10.115	10.150	10.245	10.235	10.220	10.230	10.165
Elev. de la superficie del terreno	9.925	9.925	9.925	9.925	9.970	9.970	9.970	9.970	9.915
	Elevaciones								
Días Después de la Lectura Inicial (Lectura Inicial Agosto 25, 1969)									
0	8.670	8.190	8.115	seco	seco	8.245	7.470	8.830	seco
3	8.710	8.170	8.125	seco	8.825	8.255	7.630	seco	seco
4	seco	8.140	8.195	seco	seco	8.245	7.680	seco	seco
7	seco	8.170	8.195	seco	seco	8.225	7.720	seco	seco
9	seco	8.150	8.195	seco	seco	8.235	7.620	seco	seco
11	seco	8.260	8.255	seco	seco	8.205	7.300	seco	--
16	seco	8.320	8.275	seco	seco	8.215	7.730	seco	--
24	seco	8.270	8.195	seco	seco	seco	8.720	seco	seco
43	seco	8.390	8.195	8.910	seco	--	8.100	seco	9.255
46	seco	8.440	8.325	8.950	seco	8.235	7.900	seco	seco
50	seco	8.510	8.405	seco	seco	seco	7.990	seco	9.135
66	8.740	8.740	8.665	seco	seco	8.305	8.320	seco	seco
72	8.750	8.800	8.795	8.960	seco	8.355	8.430	seco	seco
81	seco	8.960	8.985	8.960	seco	8.435	8.660	seco	seco
87	8.780	9.050	9.065	seco	seco	8.525	8.750	seco	seco

Tabla 4. Conductividad Eléctrica del Agua Subterránea (mmhos/cm)

Piezómetro Número	Días Después de la Lectura Inicial (Lectura Inicial Agosto 25, 1969)														
	0	3	4	7	9	11	16	24	43	46	50	66	72	81	87
1	--	--	--	18.0	--	16.0	16.0	22.0	10.0	9.0	8.0	12.0	10.0	4.5	2.6
2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12.0	--	10.0	--	--
3	3.6	--	--	5.0	--	4.3	4.5	9.0	3.0	2.6	6.5	3.8	3.0	1.6	1.8
4	--	--	--	--	--	8.5	--	--	--	--	7.5	--	6.0	--	--
5	--	--	--	--	--	--	20.0	40.0	2.4	10.0	20.0	22.0	14.0	7.0	5.0
6	--	--	--	21.0	--	--	--	--	--	--	8.5	--	7.0	--	--
7	4.5	--	--	6.8	--	5.0	6.0	10.5	2.8	2.8	5.7	6.0	4.0	2.8	2.2
8	--	--	seco	seco	--	--	--	--	--	--	11.0	--	10.0	--	--
9	--	--	--	--	--	--	--	--	seco	seco	seco	12.0	11.0	6.0	2.4
10	--	--	--	18.0	--	--	--	--	--	--	5.0	--	9.0	--	--
11	2.0	--	--	5.9	--	4.8	5.5	3.0	3.8	2.9	3.8	4.0	5.0	2.6	2.8
12	--	seco													
13	seco	seco	--	--	--	--	--	--	--	--	15.0	--	seco	seco	seco
14	4.8	--	--	--	--	--	6.5	5.0	5.0	4.0	2.1	5.0	5.5	3.4	2.2
15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7.0	--	6.0	--	--
16	--	--	--	--	--	--	20.0	25.0	2.0	22.0	14.0	9.9	11.0	4.5	3.4
17	seco	seco	seco	seco	seco	--	--	seco	--	--	5.0	seco	seco	seco	seco
18	--	--	--	--	--	--	9.0	16.0	6.0	9.5	8.0	6.5	2.4	4.0	3.0
19	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12.0	--	8.0	--	--
20	2.0	--	--	--	--	--	15.0	20.0	5.5	15.0	13.0	7.0	9.5	5.0	3.6
21	seco	seco	seco	seco	--	--	--	seco	--	8.0	.6	10.0	seco	seco	seco
22	--	--	--	--	--	--	12.0	20.0	6.5	--	7.5	10.0	6.0	4.0	2.4
23	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	9.0	--	7.0	--	--
24	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
25	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
26	--	--	--	7.0	--	7.0	7.0	12.0	--	4.0	3.8	4.7	5.5	2.8	3.0
27	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	4.0	--	9.0	--	--

Tabla 4. (Continuación)

Pozo Número	Días Después de la Lectura Inicial (Lectura Inicial Agosto 25,1969)														
	0	3	4	7	9	11	16	24	43	46	50	66	72	81	87
53	--	--	--	12.0	--	--	7.0	--	16.0	9.0	11.0	8.0	6.0	3.4	1.2
54	--	--	--	13.0	--	--	9.2	--	12.0	8.5	7.5	8.0	9.0	4.2	1.8
55	--	--	--	--	--	--	16.0	40.0	11.0	8.5	6.0	10.0	8.5	5.0	3.2
56	--	--	--	--	--	--	11.0	20.0	6.0	4.0	2.9	7.0	6.0	3.8	2.4
57	--	--	--	--	--	--	9.5	12.0	.7	1.2	3.4	7.0	7.0	4.5	3.2
58	--	--	--	--	--	--	4.2	--	.7	3.8	4.5	5.5	3.4	3.4	2.8
59	--	--	--	--	--	--	12.0	--	9.0	9.5	5.0	10.0	5.5	4.5	4.5
60	--	--	--	15.0	--	14.0	15.0	9.0	7.8	3.0	1.5	7.0	7.0	5.0	3.0
61	--	--	--	19.0	--	20.0	15.0	25.0	7.0	8.5	6.0	9.0	7.5	3.4	3.4
62	--	--	--	16.0	--	20.0	15.0	8.0	18.0	16.0	10.0	14.0	10.0	5.0	2.6
63	--	--	--	20.0	--	15.0	14.0	--	9.0	10.0	10.0	12.0	7.0	6.0	3.6
64	--	--	--	--	--	10.0	14.0	--	9.0	4.5	12.0	12.0	8.0	4.5	2.2
65	--	--	--	14.0	--	10.0	10.0	10.0	5.5	3.5	4.0	8.0	4.5	4.0	1.6
66	--	--	--	10.0	--	8.8	7.5	12.0	12.5	4.3	8.0	8.0	5.0	4.3	2.2
67	--	--	--	9.0	--	8.0	7.5	6.0	9.0	8.0	6.0	5.5	4.0	3.0	1.2
68	--	--	--	21.0	--	16.0	14.0	--	15.0	4.2	12.0	12.0	5.5	3.6	2.2
69	--	--	--	22.0	--	20.0	20.0	--	15.0	7.0	12.0	13.0	7.0	3.4	3.4

Tabla 5. Datos de Lluvia Diaria del Período que Comienza el 25 de Agosto de 1969

Total del Tiempo Transcurrido en Días	0	1	4	7	12	13	22	23	25	26	30	34	42	47	49	51	52	57	61
Lluvia (mm)	1	10	19	12	16	1	10	1	6	13	1	36	103	17	2	6	3	6	8
Total del Tiempo Transcurrido en Días	76	77	80	85	86	87													
Lluvia (mm)	15	11	5	14	5	31													

Tabla 6. Profundidad del Agua Agregada a las Parcelas de Lavado

Fecha	Parcela A		Parcela B	
	Adiciones	*Perdidas	Adiciones	*Perdidas
8/28	155 mm	--	150 mm	--
8/29	95	20	50	--
9/5	75	--	138	--
9/6	--	145	--	148
9/10	155	--	155	--
9/18	65	--	110	--
10/7	86	--	126	--
10/14	43	--	40	--
10/30	<u>61</u>	<u>--</u>	<u>95</u>	<u>--</u>
$\Sigma =$	735	165	864	148

Adición Neta = 570 mm
(Por Irrigación)

Neto = 736 mm

Lluvia durante el período = 352 mm

Aplicación Total Bruta (Irrigación más Lluvia):

Parcela A: 922 mm

Parcela B: 1088 mm

Evaporación Estimada = 509 mm = (0.9 x Evaporación) **

Infiltración Estimada = Aplicación Bruta - Evaporación

Parcela A = 413 mm

Parcela B = 579 mm

Promedio = 496 mm

*Perdida estimada debido a la rotura de un bordo alrededor de la parcela.

**Evaporación medida en evaporímetro de tanque - clase A.