

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE AGRONOMIA

SEDE DE MEDELLIN

CRITERIOS SOBRE DISTANCIAMIENTO ENTRE GOTEROS PARA  
DOS SUELOS DIFERENTES EN RIEGO POR GOTEÓ

Por:

ELKIN ALONSO CORTES MARIN

Informe del Trabajo de Investigación pre-  
sentado como requisito parcial para optar  
al título de:

INGENIERO AGRICOLA

Profesor Consejero:

Dr. Fabio Bustamante B.

1.979

"Artículo 217 de los Estatutos de la Universidad Nacional:  
El Presidente de Tesis y el Consejero Examinador de Gra-  
do, no serán responsables de las ideas emitidas por el can-  
didato".

## CONTENIDO

	Página
I. RESUMEN .....	1
II. INTRODUCCION .....	5
III. REVISION DE LITERATURA .....	7
A. RIEGO POR GOTEO .....	7
1. Definición .....	7
2. Goteros o Emisores .....	7
3. Distanciamiento entre Goteros .....	10
4. Movimiento del agua en el suelo .....	12
5. Distribución de la Humedad .....	13
6. Retención de la Humedad en el suelo .....	16
7. Consumo de Agua .....	21
8. El tensiómetro como ayuda para determi- nar un régimen de riego .....	24
IV. MATERIALES Y METODOS.	
A. MATERIALES .....	28
1. Recipientes o cajas experimentales .....	28
2. Suelo .....	28
3. Tensiómetros .....	29
4. Equipo de Riego .....	30
5. Cultivo .....	31

	Página
6. Agua .....	31
7. Evaporímetro .....	32
B. METODOLOGIA .....	32
1. Cantidad de agua aplicada .....	33
2. Frente de Humedecimiento .....	34
3. Desarrollo del Cultivo .....	35
4. Operación y ajuste del sistema.....	36
5. Diseño hidráulico del sistema de riego por goteo .....	37
V. RESULTADOS .....	40
A. TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO .....	40
B. DESARROLLO DE LA PLANTA .....	41
C. GRADO DE APLICACION Y FRECUENCIA DE RIEGO .....	42
D. FRENTE DE HUMEDECIMIENTO .....	42
E. VOLUMEN DE AGUA APLICADA .....	43
VI. DISCUSION DE RESULTADOS .....	44
A. CONSUMO TOTAL DE AGUA, TEXTURA Y FRECUENCIA DE APLICACION .....	44
B. GRADO DE APLICACION, FRECUENCIA DE RIEGO Y HUMEDECIMIENTO DEL SUELO ...	44

C. RELACION ENTRE TENSION, AVANCE DEL FRENTE DE HUMEDAD Y EL DISTANCIA - MIENTO ENTRE GOTEROS .....	46
VII. CONCLUSIONES .....	51
BIBLIOGRAFIA .....	54
APENDICE .....	58
Apéndice de Tablas	
Apéndice de Figuras	

## APENDICE DE TABLAS

		Página
TABLA 1.	Variaciones de tensión en la Caja 1 con $S_1 A_1$ .....	59
TABLA 2.	Variaciones de tensión en la Caja 2 con $S_2 A_1$ .....	65
TABLA 3.	Variaciones de tensión en la Caja 3 con $S_2 A_2$ .....	71
TABLA 4.	Variaciones de tensión en la Caja 4 con $S_1 A_2$ .....	77
TABLA 5.	Valores mínimos y máximos de tensión alcanzados en los dos tratamientos .....	83
TABLA 6.	Resultados de algunos factores de la plan- ta y el consumo de agua .....	84

## APENDICE DEE FIGURAS

		Página
FIGURA 1.	Sitios de ubicación de los tensiómetros ...	86
FIGURA 2.	Tipo de tensiómetros utilizados .....	87
FIGURA 3.	Disposición del equipo .....	88
FIGURA 4.	Curva de retención de humedad del suelo franco arcilloso .....	89
FIGURA 5.	Curva de retención de humedad del suelo arenoso .....	90
FIGURA 6.	Estado de desarrollo de las plantas en los dos tratamientos al final de la experiencia.	91
FIGURAS 7 al 12.	Variaciones de tensión en la Caja 1 con $S_1 A_1$ .....	92-97
FIGURAS 13 al 18	Variaciones de tensión en la Caja 2 con $S_2 A_1$ .....	98-103
FIGURAS 19 al 24	Variaciones de tensión en la Caja 3 con $S_2 A_2$ .....	104-109

FIGURAS

25 al 30	Variaciones de tensión en la Caja 4 con	
	$S_1 A_2$ .....	110-115
FIGURA 31.	Formación del bulbo de humedad y avance del frente de humedad en la Caja 1 con	
	$S_1 A_1$ .....	116
FIGURA 32.	Franja húmeda en la Caja 1 con $S_1 A_1$ ..	116
FIGURA 33.	Franja húmeda en la Caja 2 con $S_2 A_1$ ..	117
FIGURA 34.	Franja húmeda en la Caja 3 con $S_2 A_2$ ...	117
FIGURA 35.	Formación del bulbo de humedad y avance del frente de humedad en la Caja 4 con	
	$S_1 A_2$ .....	118
FIGURA 36.	Franja húmeda en la Caja 4 con $S_1 A_2$ ..	118



## I. RESUMEN

Siendo el riego por goteo una práctica que día a día se hace más popular, es necesario precisar las muchas relaciones existentes entre el suelo, la evapotranspiración, la descarga por gotero, etc.

El presente trabajo se planeó teniendo en cuenta la existencia de esas relaciones, para lo cual se fijaron los siguientes objetivos:

1. Estudiar la relación existente entre algunos factores que tienen que ver y afectan el distanciamiento entre goteros, como el grado de aplicación, la frecuencia de riego y el suelo.
2. Fijar algunos criterios para la determinación del distanciamiento entre goteros.

Para el logro de estos objetivos se estudió el efecto del suelo, la frecuencia de riego y el grado de aplicación sobre el distanciamiento entre goteros a partir de la siguiente metodología:

Se seleccionaron dos muestras de suelo de dos regiones diferentes del Departamento de Antioquia, una del Municipio de Santa Fe de Antioquia con textura franco arcilloso ( $S_1$ ) y la otra del Llano de Ovejas con textura arenoso ( $S_2$ ).

Cada suelo fue depositado en dos cajas de madera impermeabilizada, con las siguientes dimensiones: (60 x 20 x 50) cms., una de cuyas caras era de vidrio para permitir la observación visual del desarrollo radicular y de la formación del frente de humedad, para la ubicación de 6 perforaciones a través de las cuales se colocaron 6 tensiómetros conectados a manómetros diferenciales, para la observación de los cambios de tensión de humedad del suelo a diferentes profundidades.

Como cultivo consumidor de agua fueron sembradas semillas de maíz ICA H 302.

El desarrollo del trabajo se llevó a cabo en el invernadero de la Universidad Nacional, Sede de Medellín.

Como equipo de riego para la aplicación del agua fueron dispuestos dos goteros o microtubos por caja, distanciados entre sí 30 cms. y a 15 cms. con respecto a la planta.

A cada uno de los suelos se le suministró el agua en dos grados de aplicación, calculados en base a las variaciones de tensión que presentaban los 6 tensiómetros. Estas aplicaciones fueron suministradas a

razón de 1.05 litros/hora ( $A_1$ ) por gotero, y con frecuencia de 3 días, como un primer tratamiento.

Un segundo tratamiento de 0.297 litros/hora ( $A_2$ ), con frecuencia diaria.

El contenido y disposición de las cajas de observación fue:

Caja 1 :  $S_1 A_1$                       Tratamiento 1o.

Caja 2 :  $S_2 A_1$

Caja 3 :  $S_2 A_2$                       Tratamiento 2o.

Caja 4 :  $S_1 A_2$

En cada uno de los tratamientos se hicieron las observaciones necesarias para establecer relaciones entre el grado de aplicación, frecuencia de riego, y el tipo de suelo con respecto al distanciamiento entre goteros.

Se encontró que el distanciamiento entre goteros se ve afectado por los factores anotados como también, por el tipo de cultivo a sembrar.

Las principales conclusiones a que se llegó fueron:

- Grados de aplicación pequeños y frecuentes, permiten la formación y avance de un frente de humedad, muy similares en ambos suelos.
- Se puede optar por un grado de aplicación mayor, que por un distanciamiento menor, obteniéndose el mismo efecto.
- La relación que se observó entre los cambios de tensión, los cambios de contenido de humedad, la textura, la frecuencia de riego y el grado de aplicación, indican que su conocimiento es determinante para diseñar un sistema de riego por goteo, en lo que a espaciamiento entre goteros y a volúmenes de agua a aplicar se refiere.
- El conocimiento del avance y del alcance del frente de humedad, es un factor importante para la determinación del espaciamiento entre goteros.

## II . INTRODUCCION

Una agricultura moderna necesita de la utilización racional del recurso agua. En este largo proceso por ahorrar este líquido son muchas las técnicas y sistemas de riego que se van superando y refinando. Entre estos últimos tenemos el riego por goteo cuyo uso se recomienda cada día más.

Pero estas nuevas soluciones presentan todavía interrogantes a los cuales se precisa darles respuesta.

En el caso de riego por goteo el propósito es crear condiciones favorables de crecimiento, en lo que respecta al campo y disponer las plantas dentro de esta superficie definida. En esta forma, la información relativa al ancho efectivo de la franja mojada y sus principales características es de importancia básica para la apropiada aplicación del método de riego por goteo.

Entre los factores involucrados en riego por goteo y que se hace necesario precisar y estudiar está el determinar la relación existente entre el ancho y la profundidad final de la zona mojada paralela a la hilera de boquillas y la magnitud de la velocidad de aplicación del agua y la evapotranspiración, así como del tipo de suelo.

En la actualidad se están llevando a cabo experimentos para llegar a valores cuantitativos del régimen de agua, que expresen esas relaciones. Los datos cuantitativos correspondientes están siendo evaluados para precisar las condiciones de salinidad, fertilización y aireación, factores que dependen primordialmente del régimen de agua.

En riego por goteo es posible mantener un contenido de humedad si tenemos un distanciamiento correcto entre goteros, así como otros factores del suelo que atañen el crecimiento y que se relacionan con el agua. Con este sistema se aumenta la eficiencia en la aplicación del agua, pues se puede lograr que las boquillas dejen salir la misma cantidad de agua, lo cual da por resultado un ahorro de ella y la corteza de una aplicación uniforme.

En este orden de ideas el presente trabajo pretende:

1. Estudiar la relación existente entre algunos factores que afectan el distanciamiento entre goteros, como son: el grado de aplicación, la frecuencia y el tipo de suelo.
2. Fijar algunos criterios para la determinación del distanciamiento entre goteros.
3. Propender por un aumento de la eficiencia del sistema con un óptimo control y suministro de agua.

### III. REVISION DE LITERATURA

#### A. RIEGO POR GOTEO.

##### 1. Definición.

Para Goldberg (7), el riego por goteo consiste en una dispersión lateral del agua sobre la superficie regada, conduciendo el agua a presión hasta una red de salidas espaciadas a distancias relativamente cortas y descargando el líquido a través de estas salidas a una presión nula. Con el riego por goteo el propósito es crear condiciones favorables de crecimiento en lo que respecta al campo y disponer las plantas dentro de esa superficie definida.

En esta forma, la información relativa al ancho efectivo de la franja mojada y sus principales características, es de importancia básica para la apropiada aplicación del riego por goteo (6).

##### 2. Goterros o Emisores.

Son los dispositivos donde se pierde la presión que lleva el agua, dentro de la red, para que salga gota a gota, permitiendo una aplicación localizada en la zona de riego (15).

Existen multitud de tipos de goteros que se pueden clasificar ateniéndose a varias características. Una agrupación de los diferentes tipos de goteros se presenta en Agricultura de las Américas (17) como sigue:

1. Microtubos
2. Tubos de pared porosa
3. Manguera de dos presiones o de doble pared
4. Varios tipos de goteros especiales

Hernández Abreu y Rodrigo López (10), realizaron una clasificación de goteros ateniéndose a sus características hidráulicas:

- a. Goteros de conducto largo:

En ellos la pérdida de presión se consigue al hacer circular el agua por un conducto largo de hasta 2 metros, con un diámetro de 0.5 a 1 mm. Los caudales de estos goteros varían de 2 a 101 L/H. Con presión de una atmósfera. Respondiendo a este principio, se tiene una amplia gama de emisores que incluye a los microtubos como más sencillos, si bien en ellos



se debe trabajar a menores presiones para no utilizar longitudes de microtubo excesivamente largas.

b. Goteros de orificio:

En ellos la presión se disipa mientras el agua descarga a través de una pequeña boquilla.

c. Goteros Tipo Vortex:

Con cámaras circulares en donde el agua entra tangencialmente a alta velocidad y sale por el centro de la cámara.

d. Goteros autocompensantes:

Llamados así porque admiten una amplia variación de presión para un caudal dado.

e. Goteros multisalidas:

Basado en cualquiera de los principios anteriores, el agua sale al exterior por varios orificios, que pueden ser o no totalmente independientes.

### 3. Distanciamiento entre Goteros.

Goldberg y Shmueli (3), observaron que en riego por goteo solo una porción de la superficie del suelo se humedece pero a intervalos muy frecuentes. El cultivo se localiza en la zona húmeda. La proporción de movimiento horizontal del agua en el suelo y la tensión de humedad a diferentes distancias de boquillas (goteros) corresponden al tipo de suelo que se trate y la proporción de descarga de las boquillas. El ancho final de la zona húmeda, paralela a la hilera de boquillas, está en relación a la magnitud de la aplicación del agua y a la evapotranspiración, así como al tipo de suelo.

En la actualidad se están llevando a cabo experiencias para llegar a valores cuantitativos del régimen de agua que expresan esas relaciones (3).

Goldberg y Shmueli (3), encontraron de acuerdo a pruebas hechas, que la longitud óptima de una tubería de distribución de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro, es de 100 a 140 pies. La distancia entre las boquillas depende de su descarga y del tipo de suelo; cuando este último es entre arenoso y arenoso franco,

se obtiene un resultado óptimo espaciando a 20 pulgadas las boquillas a lo largo del ramal.

Los experimentos realizados por Goldberg y Shmueli (3) en un viñedo demostraron que es posible colocar una boquilla junto a cada vid, ésto es, cada 60 pulgadas.

En una parcela experimental la descarga por boquilla fue de 2.2 gal./hr., mientras que en otro campo fue de 7.7 gal./hora.

Las cantidades de aplicación pueden ajustarse por medio de las boquillas de diferentes tamaños y una menor o mayor descarga, las distancias entre las boquillas a lo largo de las tuberías laterales, o entre éstas, pueden variarse de acuerdo con las condiciones del suelo y de los cultivos (8).

Goldberg y Gornat (4), encontraron que la concentración de sales solubles (incluyendo las agregadas como fertilizantes), es llevada cerca de la superficie del suelo y especialmente en el punto medio entre boquillas adyacentes. Esta concentración aumenta gradualmente si el contenido de sales del suelo o del agua es alta, y si los frentes de humedecimiento entre las boquillas se juntan a una mayor profundidad.

Es posible aumentar un poco la distancia que dicho frente extiende desde las boquillas, aumentando la descarga o la cantidad de agua aplicada. Si la capacidad de infiltración del suelo es alta y el movimiento lateral del agua es bajo (como un suelo arenoso), es indispensable emplear un espaciamiento más corto entre boquillas (4).

#### 4. Movimiento del agua en el suelo.

El movimiento del agua en el suelo es complejo debido a la diversidad de estados y direcciones en que ésta lo hace a causa de las fuerzas que la hacen desplazarse. El agua penetra verticalmente, por gravedad, por virtud de las fuerzas de adhesión y cohesión, se mueve en los pequeños poros por capilaridad. El grado o proporción en que el agua de gravitación se infiltra en el suelo depende mayormente del tamaño y continuidad de los espacios que separan los poros.

Por lo general, el agua se mueve libremente en los suelos de textura gruesa. Se desplaza con menor rapidez en los suelos de textura fina por la resistencia al flujo en poros pequeños que, a su vez, pueden estar bloqueados por geles coloidales hinchados y por aire atrapado (2).

El agua de riego se mueve hacia adelante, de una capa saturada del suelo a otra que no lo esté. Este desplazamiento es un tanto incierto; el agua se acumula hasta que los grandes poros se llenan, y luego sigue su curso hasta la siguiente capa de poros grandes (2).

Para el movimiento del agua en el suelo los investigadores han mostrado que existen tres zonas básicas durante el riego; la zona de transmisión, la zona de humedecimiento y el frente de humedecimiento. Como estas zonas pertenecen a un sistema dinámico continuo están conectadas inseparablemente, pero sin embargo, muestran características distintas en cuanto a la naturaleza del movimiento del agua (12).

##### 5. Distribución de la Humedad.

Goldberg, Rinot y Karu (5), encontraron que la baja cantidad general de aplicación extiende la amplitud de control hasta el régimen de humedad del cultivo sometido a riego.

El agua se aplica con uniformidad a la hilera de plantas dentro de una amplia gama de intervalos posibles. El

suelo permanece en su mayor parte sin llegar a la saturación y por tanto, bien aireado durante los riegos debido a la distribución característica del agua alrededor del punto de goteo y el traslape de cada uno de los bulbos de humedad a todo lo largo de la tubería; la distribución final de la humedad del suelo es mayor por debajo de las plantas y va disminuyendo lateralmente la capa superficial del suelo empezando a cierta distancia de la tubería de boquillas, permanece seca hasta una profundidad de 5 a 15 cms.

Shmueli y Goldberg (18), encontraron que la porción humedecida representa el 50% de la superficie total. Es de suponer que concentrando el riego en la zona más eficaz de la zona de raíces, o sea, humedeciendo hileras en lugar de toda la superficie, podría utilizarse un menor volumen de agua con el consiguiente ahorro de este líquido.

Goldberg y Shmueli (3), observaron que cuando se aplica el riego por goteo a una determinada velocidad, es posible descubrir una zona definida en la vecindad de la boquilla, dentro de la cual las condiciones de crecimiento son óptimas, este valor óptimo depende principalmente de las

concentraciones de agua que son mayores que la "capacidad de campo" admitida como hace para otros métodos de riego; pero menores que el contenido de agua del suelo al punto de saturación.

Los métodos de riego comunes mediante aspersion o surcos, son tipificados, desde el punto de vista de la zona radicular de las plantas, por ciertas características; un cambio rápido de la saturación durante el riego a la capacidad de campo hasta un contenido mínimo de agua alcanzando con anterioridad al riego subsecuente. Este cambio es acompañado de grandes fluctuaciones en la tensión de humedad del suelo. Al mismo tiempo tienen lugar fluctuaciones parecidas en otros factores del suelo que tienen que ver con el crecimiento y que dependen del régimen de humedad (3).

En el riego por goteo se llega a un alto contenido de humedad que es mayor que la capacidad de campo, pero muy cercano a la misma. Es posible mantener un contenido casi uniforme y así como de otros factores del suelo que atañen al crecimiento y que se relacionan con el agua. Al emplearse el método de riego por goteo, el suelo deja de funcionar

como un depósito de agua, pues el líquido gastado vuelve a la zona de raíces en forma casi continua. Además, el tipo de suelo deja de ser un factor decisivo, en cuanto al establecimiento del intervalo entre riegos (3).

Goldberg, Rinot y Karu (5), encontraron que hay un aumento significativo en la capacidad de mantenimiento de la humedad en la zona principal de las raíces. Miller, citado por Goldberg ya había notado que la cantidad real de humedad disponible para las plantas en la capa de suelo activo, puede considerarse mayor que la variación entre la capacidad de campo normal y el punto de marchitamiento. Si queda una parte de la humedad del suelo susceptible de drenaje en la zona de raíces durante un tiempo suficiente para su absorción por las raíces, se agregará a la cantidad real de agua disponible.

#### 6. Retención de la Humedad en el Suelo.

Los suelos retienen el agua de dos modos: en los intersticios, poros o capilares que existen entre las partículas sólidas, y por adsorción sobre las superficies sólidas de las



partículas de arcilla y materia orgánica. Es importante señalar que el agua retenida en un suelo, aún cuando esté bastante seco, no puede separarse netamente en agua capilar y agua adsorbida (16).

Para extraer agua del suelo se requiere energía. La fuerza (tensión) de retención del agua depende de la cantidad en que se encuentre en el suelo; (mientras menor sea la cantidad mayor será la tensión retentiva) las fuerzas que determinan esta tensión son la adhesión, o sea el grado de atracción de la partícula del suelo por el agua, y la cohesión, que es la atracción de las moléculas de agua entre sí. Debido a estas fuerzas, el agua llena los poros pequeños del suelo y queda depositada en capas de grueso regular en los poros grandes. Al ir aumentando el grosor de las moléculas de agua en la superficie exterior, los espacios de aire y líquido retienen aquella con menor fuerza. Las moléculas pueden entonces moverse por gravedad o por la atracción de las capas menos gruesas cercanas. Por lo tanto, no se requiere mucho trabajo o energía para extraer de un suelo a punto de saturación, aunque al aumentar la extracción del agua se tiene que emplear mayor energía (2).

Los suelos de textura pesada y los muy coloidales poseen en general una elevada capacidad de retención de agua. La materia orgánica ejerce una influencia similar. También son factores importantes la compactación y la granulación. La compactación de un suelo arenoso aumenta en general su poder de retención de agua, mientras que en un suelo pesado la influencia de la compactación puede ser opuesta (14).

Como el método de riego por goteo se funda en un reabastecimiento cotidiano del déficit de agua (o a intervalos muy frecuentes), el suelo deja de ser un medio para retener el agua en los intervalos de riego. Por lo tanto, un suelo de estructura amorfa cumple bien la función, si no es que mejor, que un suelo de buena estructura definida. El hecho es que el suelo actúa solo como sostén de las raíces de las plantas y como estructura para recibir en forma continua el agua de riego (3).

a. Tensión de la humedad del suelo.

La tensión de la humedad del suelo es una medida de la tenacidad con que el agua es retenida en el suelo y

representa la fuerza por unidad de área que debe aplicarse para extraerla (2).

Cada suelo retiene una misma cantidad de agua con una fuerza distinta. Así, una arena que contenga un 15% de humedad la cede fácilmente a las plantas, y con ese mismo volumen de agua la tensión será mucho mayor si se tratare de un terreno arcilloso, en el que la vegetación tendría más dificultades para suministrarse la humedad precisa (11).

En otras palabras, lo que verdaderamente importa no es la cantidad bruta de agua presente, sino la tensión con la que es retenida, esta fuerza también influye en la velocidad de circulación de la humedad en el suelo, en su tránsito de áreas secas hacia otras más húmedas (11).

El riego frecuente tiene el efecto de mantener baja la tensión, ésto es, entre la capacidad de campo y la saturación. En consecuencia, el cultivo está capacitado para resistir las más altas tensiones osmóticas inherentes a las aguas de alta salinidad (8).

La extensión de tiempo en que las tensiones de humedad del suelo en la zona de las raíces garantizan un suministro ilimitado de agua, reviste gran importancia, sobre todo cuando el uso consuntivo empieza a aumentar (18).

El valor de una tensión de humedad del suelo no indica la cantidad de agua que el suelo contiene, ni la cantidad que puede extraerse en dicha tensión. Estas cifras, que dependen tanto de la textura como de la estructura, tiene que ser calculadas (2).

b. El Tensiómetro:

Los tensiómetros son aparatos que miden la tensión con que el agua es retenida por las partículas de suelo, lo cual indica el grado de disponibilidad del agua en el suelo, y constituye una medida indirecta del contenido de humedad en un suelo determinado (1).

Un tensiómetro consiste de una cápsula de porcelana porosa que se coloca en contacto directo con el suelo, un tubo de agua que transmite la tensión del agua en el suelo y un manómetro que puede ser de mercurio

para registrar dicha tensión. Estos aparatos dan resultado adecuado cuando la tensión del agua es menor de 0.9 horas. Cuando la tensión es mayor, la columna de agua tiende a romperse y los resultados son erráticos (1).

Los tensiómetros, son quizás de todos los equipos de medida de humedad del suelo, el más fácil de manejar e instalar y el que da lecturas más rápidamente (13).

## 7. Consumo de Agua.

### a. Evapotranspiración:

Recibe este nombre el total del agua que se pierde desde el suelo por la acción conjunta de la evaporación desde su superficie y de la transpiración de las plantas. Está muy influenciada por el clima y representa el consumo neto de humedad. Hay varias fórmulas empíricas para su cálculo (11).

### b. Adsorción de humedad por las plantas:

La adsorción de humedad es importante para el crecimiento y supervivencia de la mayoría de las plantas. Una

planta de maíz durante el verano puede perder de 2 a 4 litros de agua por día, si esta pérdida de humedad no fuera reemplazada, las plantas morirían en un solo día.

Las raíces suministran a la planta la mayor proporción del agua que utiliza durante su ciclo de vida; por ello, la velocidad a que el sistema radicular puede extraer agua del suelo durante los períodos de sequía es de importancia fundamental para el desarrollo de los cultivos (16).

Las raíces de las plantas únicamente pueden extraer agua del suelo si son capaces de ejecutar un trabajo suficientemente grande para desplazarla de los poros. A medida que el suelo se seca, aumenta el coeficiente de succión necesario para extraer agua y disminuye la velocidad de movimiento del agua en una longitud dada de raíz, lo cual puede tener algunas veces la consecuencia de que si el cultivo se está desarrollando en condiciones que conducen a velocidades elevadas de transpiración, la velocidad real máxima que ésta puede alcanzar disminuirá a medida que el suelo se seca (16).

Los métodos convencionales para medir la tensión de humedad del suelo evalúan un valor promedio, pero en realidad, la tensión de humedad del suelo en contacto con las raíces puede ser mayor que la promedio medida.

En un suelo sometido a contenidos variables de humedad, las plantas se ven afectadas en mayor grado por los valores extremos de potencial (     ), que por el valor promedio, además, el crecimiento radical no es uniforme, lo cual determina un patrón de extracción de humedad de acuerdo a la distribución radicular.

La absorción de humedad por las plantas se debe a:

- Movimiento capilar del agua hacia las raíces.
- Crecimiento de las raíces hacia los sitios donde se encuentra la humedad del suelo.

En riego por goteo, parece que no es esencial un gran volumen de agua para el consumo directo de las plantas, sino más bien para mantener la combinación correcta de alto consumo de agua durante breves períodos

de tiempo, la conservación de la capacidad de un suelo arenoso para proveer agua, y la constante lixiviación de sales de la zona de raíces (18).

8. El tensiómetro como ayuda para determinar un régimen de riego.

Para poder garantizar el óptimo desarrollo de las plantas, hay que conocer el estado del agua del suelo. La necesidad de riego, así como la de drenaje se determina conforme al contenido de humedad del suelo (9).

El suelo agrícola es un sistema dinámico. El agua entra a él y se pierde al drenarse o -debido a las relaciones energéticas del sistema- es retenida y queda disponible para uso de las plantas. La tensión del agua del suelo es un indicador del estado de humedad del suelo, y se basa en las características termodinámicas del agua (9).

Un régimen eficaz de riego significa el óptimo desarrollo del cultivo y un eficaz aprovechamiento del agua. En regiones donde ésta escasea dicho régimen es el que produce el máximo rendimiento por unidad de masa de agua.



Taylor, citado por Gornat (9), definió el óptimo régimen de riego así: la tierra debe regarse mientras su potencial de capacidad de agua aún se conserve lo bastante alta, a fin de asegurarse que haya una cantidad de agua adecuada para satisfacer las existentes demandas atmosféricas, sin someter a las plantas a un esfuerzo que menguaría el rendimiento o la calidad de la cosecha.

El enfoque dinámico, que considera a la planta como parte integrante del sistema suelo-vegetación-atmósfera, explica por qué no es posible elegir una cierta tensión como aquella a que debe sujetarse el riego del cultivo. Este valor es una función de tres variables -suelo, vegetación, clima-, las cuales pueden cambiar considerablemente de un sitio a otro. Las correlaciones entre el desarrollo vegetativo y la tensión del agua son específicas para la región y condiciones climáticas en que sean calculadas (9).

Estudios recientes, efectuados sobre la respuesta de una planta al régimen de agua del suelo, han demostrado que se consiguen los máximos rendimientos de materia fresca (o seca) cuando es alta la capacidad potencial de agua de la planta. Una baja capacidad, o baja tensión del agua, afecta la

actividad enzimática, produce menor área foliar, reduce la abertura estomatal y disminuye la fotosíntesis (9).

- a. Uso de tensiómetros para determinar el volumen de aplicación de agua:

El agua que el suelo contiene previamente al riego, en la zona radicular efectiva determina el caudal que hay que aplicar. Por consiguiente, los tensiómetros, colocados a una cierta profundidad (o profundidades), pueden emplearse para indicar qué caudal deberá aplicarse. Un descenso en la lectura del instrumento significa que el agua de riego ha alcanzado la profundidad a que se halla la membrana porosa. El cierre del agua en este momento garantiza el riego hasta una profundidad constante y, de este modo la operación llena las necesidades del cultivo, el suelo y el clima (9).

Si se colocan tensiómetros a unas cuantas profundidades, es posible regular la aplicación del agua con arreglo al estado de humedad que exista a diferentes profundidades del suelo. Se pueden aplicar, a menudo,

pequeños caudales para mojar solo la capa superior; los caudales mayores pueden aplicarse con menor frecuencia para mojar las capas más profundas.

La posibilidad de regular el volumen de la aplicación de agua, controlando la profundidad de humedecimiento, ha conducido al desarrollo del riego automático que se basa en la condición real de humedad del suelo y no en la aplicación de cantidades arbitrarias basadas en un programa prefijado (9).

## IV. MATERIALES Y METODOS

Con el fin de conocer factores que tengan relación con los objetivos propuestos para el trabajo, considerando los cambios en tensión del agua del suelo debidos al consumo por evapotranspiración, fue necesario disponer del equipo y de la metodología que a continuación se describen:

### A. MATERIALES.

#### 1. Recipientes o cajas experimentales.

Para el manejo del suelo se dispuso de 4 cajas de madera impermeabilizada, con las siguientes dimensiones ( 60 x 20 x 50 cms.), una de sus caras de vidrio con 6 perforaciones para la colocación de los tensiómetros (Ver Figura 1).

#### 2. Suelo.

Las muestras de suelo fueron recogidas de los primeros 20 cms. del perfil del terreno. La experiencia se realizó con dos suelos diferentes que presentaron las siguientes características:

- muestra de suelo del municipio de Santa Fé de Antioquia, vereda El Espinal (S<sub>1</sub>).
  - textura: franco arcilloso.
  - contenido de materia orgánica: 2.7%
  - contenido de humedad del suelo antes de comenzar el riego: 8.36% correspondiente a una tensión de humedad de 57.000 milibars.
  - muestra de suelo del municipio de San Pedro, Llano de Ovejas (S<sub>2</sub>).
- Textura: arenoso.
- contenido de materia orgánica: 20.8%
- contenido de humedad del suelo antes de comenzar el riego: 23.6% correspondiente a una tensión de humedad de 43.500 milibars.

### 3. Tensiómetros.

Para la medición de la tensión de humedad del suelo se utilizaron tensiómetros, 6 por caja, fabricados para este trabajo con las siguientes características:

Una cápsula de porcelana porosa como membrana semipermeable de 5 mm. de diámetro por 10 de largo, conectado a un tubo de cobre de 1.5 mm. de diámetro.

El manómetro fue de tipo diferencial en U, de mercurio, con una longitud máxima en el brazo de 15 cms. Antes de su instalación, se llenaron con agua destilada y hervida para la extracción del aire y evitar burbujas en la manguera. La Figura 2 muestra los detalles del tipo de tensiómetro utilizado.

#### 4. Equipo de Riego.

El equipo de riego, utilizado para hacer las aplicaciones del agua de acuerdo con lo establecido en el plan de trabajo, fue el siguiente:

- 2 botellones de 1 y 2 galones como depósito de almacenamiento del agua y control de la cabeza hidráulica por medio de sifón, con el fin de mantener una presión constante en los goteros para cada aplicación.
- 4 microtubos de polietileno blanco de  $\emptyset = 0.86$  mm. con una longitud de 30 cms.

- 4 goteros de diseño especial para riego por goteo con un  $\phi = 2$  mm.
- 2 estranguladores de tubería para el control de presión y caudal.

La disposición del equipo empleado puede observarse en la Figura 3.

#### 5. Cultivo.

Como planta consumidora de agua se utilizó maíz, semilla ICA H 302.

La planta de maíz cumplió únicamente la función de consumir agua y fue base para la instalación de los tensiómetros, según el patrón de distribución de las raíces en el suelo.

#### 6. Agua.

El agua utilizada para el riego fue del Acueducto Municipal, la cual no presenta problemas de sedimentación que puedan obstruir los goteros.

## 7. Evaporímetro.

Para la medición de la evaporación ocurrida se instaló un evaporímetro en el invernadero, un mes antes de la instalación del equipo de riego. El evaporímetro tenía las siguientes características:

Un cilindro plástico transparente con una altura de 14 cms. y un diámetro de 12 cms.

## B. METODOLOGIA.

El experimento se realizó en el invernadero de la Universidad Nacional de Medellín. Para ello se procedió a instalar el equipo de riego y a depositar los dos suelos, que habían sido previamente tamizados, en las 4 cajas experimentales, utilizando 2 cajas por cada suelo. Las muestras después de tamizadas se colocaron por capas de igual espesor, golpeando los bordes de las cajas para buscar el mejor acomodamiento de las partículas de suelo. Su disposición y contenido fue así:

Caja 1:	$S_1 A_1$	1er. Tratamiento
Caja 2:	$S_2 A_1$	
Caja 3:	$S_2 A_2$	2o. Tratamiento
Caja 4:	$S_1 A_2$	



- $A_1$  : Grado de aplicación a razón de 1.05 litros/hora  
 $A_2$  : Grado de aplicación a razón de 0.297 litros/hora

1. Cantidad de agua aplicada.

Se suministraron dos aplicaciones a cada suelo con frecuencia de uno y tres días. La cantidad se calculó inicialmente, para los primeros riegos y hasta la germinación de la semilla, tomando como guía el evaporímetro situado también en el invernadero. Para los riegos sucesivos la cantidad de agua a aplicar se calculó con base en la variación de la tensión de humedad ocurrida a las diferentes profundidades medidas en los tensiómetros instalados en esos puntos. Considerando los porcentajes de humedad correspondientes a esas variaciones según lo indicó la curva de retención de humedad del suelo franco arcilloso (Figura 4) y del suelo arenoso (Figura 5).

Las lecturas de tensiones en cms. de mercurio (Hg) se hicieron diariamente a las 8 am. antes del riego y a las 4 pm. después del riego.

La aplicación del riego por tratamiento se hizo a través de los goteros o microtubos distanciados entre sí 30 cms. y a

15 cms., con respecto al sitio de colocación de la semilla. Esta disposición tenía como fin facilitar la observación de los frentes de humedad a lado y lado de la planta y así tratar de definir su comportamiento.

Los riegos se efectuaron de la siguiente manera:

En el Primer Tratamiento el agua se aplicó a razón de 1.05 litros/hora por gotero y con una frecuencia de 3 días y a través de los goteros.

El Segundo Tratamiento se aplicó con frecuencia diaria a razón de 0.297 litros/hora por boquilla y a través de los microtubos.

La duración de cada riego fue distinta en cada tratamiento, y guardó proporción con el volumen de agua que debió aplicarse.

## 2. Frente de Humedecimiento.

Para el control del movimiento de la humedad se instalaron 6 tensiómetros por caja, localizados a diferentes profundidades como lo muestra la Figura 1.

También se realizó un seguimiento visual a través del vidrio del avance del frente de humedad, señalando este avance con lápiz vidrio Graf.

Los tensiómetros fueron provistos de manómetros diferenciales de mercurio, donde se hicieron las lecturas en cms. de mercurio (hg), de las variaciones que presenta la humedad como efecto del avance del frente de humedad.

La colocación de los tensiómetros fue gradual ya que antes y en los primeros riegos las tensiones ocurridas en la parte intermedia entre goteros y a una profundidad de 15 cms., y lo mismo que a profundidades de 30 y 50 cms. eran superiores a la capacidad de registro que era de 15 cms. de mercurio (Hg). En las Tablas 1, 2, 3 y 4 se puede observar las fechas de colocación de los diferentes tensiómetros.

### 3. Desarrollo del Cultivo.

Antes de la siembra de las semillas de maíz se procedió a realizar varios riegos, con el fin de que las semillas tuvieran la humedad suficiente para su germinación. La siembra se realizó cuando los dos bulbos de humedad se encontraron, sembrándose dos semillas por caja.

Como las 8 semillas sembradas germinaron en forma uniforme, y como solo se necesitaba una planta por caja, al cabo de 15 días se procedió a arrancar una de ellas, dejando la que presentaba mejores características de desarrollo.

En el transcurso de la experiencia se hicieron mediciones de la altura en cms. que alcanzaba la planta. También se hicieron deshierbas manuales y vigilancia y control de enfermedades y plagas.

Es importante señalar que no se realizaron fertilizaciones. Se dió por terminada la experiencia cuando las plantas presentaron cierto grado de desarrollo foliar y el sistema radical había alcanzado el fondo de las cajas (Ver Figura 6).

El tiempo transcurrido desde el inicio fue de 8 semanas.

#### 4. Operación y ajuste del sistema.

El sistema se operó de la siguiente forma:

- a. Abastecimiento de los botellones con agua del Acueducto Municipal.

- b. Regulación del caudal a la entrada de la línea de goteo por medio de una pinza estranguladora.
- c. Mantenimiento del riego a descarga constante y continua durante el tiempo de aplicación.

El ajuste se efectuó así:

- a. Control de la mínima cabeza hidráulica, disponible en los botellones de almacenamiento que permitiera el funcionamiento del sistema.
  - b. Calibración de goteros, con el fin de mantener uniforme la descarga por gotero y hacer las correcciones necesarias.
  - c. Revisión diaria de la posición de los goteros.
5. Diseño hidráulico del sistema de riego por goteo.

Para el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo se procedió de la siguiente forma:

- a. Determinación del volumen de agua aplicar a cada planta:

Para el período comprendido entre el inicio de la experiencia y la germinación.

$$V = A \times dg$$

$$V = \text{Volumen por planta (L}^3\text{)}$$

$$A = \text{Area efectiva (L}^2\text{)} \text{ y fue el área de la superficie de la caja (0.6 x 0.2 ) m.}$$

$$dg = \text{Lámina de riego (L).}$$

b. Cálculo de la lámina a aplicar:

$$dg = \text{Evaporación (L).}$$

Para después de la germinación, el volumen de agua a aplicar por planta se calculó a partir de la pérdida de humedad que se dedujo por los cambios en el contenido de humedad, que indicaban los cambios de tensión a partir de las curvas de retención. (Figuras 4 y 5).

c. Gasto por gotero:

$$q = \frac{V}{t}$$

Siendo:

q = Gasto por gotero ( $L^3/T$ )

V = Volumen por planta ( $L^3$ )

t = Tiempo de riego, el cual se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\text{Galones /día/planta}}{\# \text{ de emisores } \times \text{ planta } \times \text{ rata de emisión}}$$

## W . RESULTADOS

La información recopilada del trabajo experimental fue organizada de manera tal que permitiera llegar a unos resultados que faciliten el análisis de los factores que tienen relación con los objetivos previamente fijados .

El apéndice de tablas y figuras contiene los datos obtenidos en el desarrollo de la experiencia .

### A. TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO.

Las observaciones sobre los cambios de la tensión de humedad del suelo, que se presentaron durante el desarrollo del trabajo, como efecto del consumo del agua y las aplicaciones de la misma, se presentan en las Tablas del 1 al 4; en ellas se anota la fecha de la observación, el valor de la tensión medida en el manómetro del tensiómetro en centímetros de mercurio y otras observaciones como la evaporación diaria, altura de la planta y el volumen de agua aplicado en cada riego. A partir de los datos de las tablas se dibujaron los gráficos que se muestran en las Figuras del 7 al 30; en las cuales la tensión de humedad se expresa en milibars y muestran como ocurrió el cambio de tensión con el tiempo y con la aplicación del agua.



Como medio de referencia para estimar las láminas de agua y porcentajes de humedad a distintos estados de desarrollo del trabajo, se preparó la curva de retención de humedad de los dos suelos utilizados; las cuales se muestran en las Figuras 4 y 5.

Con el fin de destacar los valores mínimos y máximos de tensión alcanzados por cada suelo en los diferentes tratamientos y estados de desarrollo del trabajo se preparó la Tabla 5.

#### B. DESARROLLO DE LA PLANTA.

Los resultados correspondientes a algunos factores de la planta, desde el punto de vista de su desarrollo, como, peso raíces, número de hojas, vigor y altura de la planta, etc. Se presentan en la Tabla 6 y sirve para comparar con otros factores como el mantenimiento de un nivel dado de tensión de humedad del suelo y la frecuencia de aplicación del agua. La Figura 6 muestra claramente la diferencia de desarrollo de las plantas para cada suelo y, cada tratamiento; permitiendo ver la diferencia de desarrollo que hubo en los dos tratamientos, comparando las plantas de un mismo tratamiento.

### C. GRADO DE APLICACION Y FRECUENCIA DE RIEGO.

La observación de la relación entre la tensión de humedad, el tipo de suelo, el grado de aplicación del agua y la frecuencia de riego, que tuvo ocurrencia durante el desarrollo del experimento; se puede ver en las Figuras 7 al 30, donde se da el valor de la tensión en milibars y los días de observación para cada caja y tratamiento: de las cuales las Figuras del 7 al 18 corresponden a las cajas Nro. 1 y Nro. 2, del Tratamiento 1, con grado de aplicación de 1.05 litros/hora. Las Figuras 19 al 30 corresponden a las cajas Nro. 3 y 4, del Tratamiento 2, con grado de aplicación de 0.297 litros/hora.

### D. FRENTE DE HUMEDECIMIENTO.

La observación de los frentes de humedecimiento, importantes para conocer la influencia del grado de aplicación y el consumo de agua sobre el espaciamiento entre goteros, puede verse en las Figuras 31, 32, 33, 34, 35 y 36, que permiten detallar la zona más húmeda en la superficie del suelo, la formación del bulbo de humedad, y el avance del frente de humedad para cada suelo y cada tratamiento.

La observación diaria no fue posible durante todo el desarrollo del experimento por limitaciones de espacio en cada caja; ya que el color del suelo especialmente el de textura arenosa no permitió la observación de la franja más oscura propia del humedecimiento.

Para conocer la influencia del alcance del frente de humedad se prepararon las Figuras del 7 al 30, que muestran los cambios de tensión que registraban los tensiómetros a medida que el frente llegaba a la posición de cada uno de ellos.

#### E. VOLUMEN DE AGUA APLICADA.

La cantidad total de agua aplicada en cada riego y en cada tratamiento se registró cada vez y se puede ver en las Tablas 1 al 4. Dada la importancia que puede tener el volumen total del agua que se aplicó en cada caja y tratamiento, se preparó la Tabla 6 en donde se dan valores en litro/hora.

## VI . DISCUSION DE RESULTADOS

### A. CONSUMO TOTAL DE AGUA, TEXTURA Y FRECUENCIA DE APLICACION.

La cantidad total de agua consumida tomada de la Tabla 6 muestra que hay un mayor consumo en el suelo franco arcilloso en ambos tratamientos. También se observa que el consumo fue mayor cuando el agua se suministró con frecuencia diaria. Esta mayor exigencia se manifestó claramente en las variaciones de tensión, como se puede ver en las Figuras 7 al 12 y 25 al 30; en donde las variaciones de las tensiones son más notorias que para el otro suelo y la otra frecuencia, manifestado en la variación de pendientes que muestran las Figuras.

A pesar de que se deseaba aplicar la misma cantidad de agua en los dos tratamientos, el suelo franco arcilloso con frecuencia diaria mostró un mayor consumo, debido a un mayor desarrollo de la planta consumidora; así que la diferencia de 1 litro se debe entre otros factores no considerados a esa circunstancia.

### B. GRADO DE APLICACION, FRECUENCIA DE RIEGO Y HUMEDECIMIENTO DEL SUELO.

Al analizar de conjunto los dos suelos en ambos tratamientos y

tomando como referencia las tensiones registradas en los suelos, ver Tablas 1, 2, 3 y 4, se destacó, que, la tensión de humedad varía inversamente con el grado de aplicación, a menor tensión más humedad, ésto debido a que cuando el grado de aplicación aumenta, el contenido de humedad también aumenta. Este hecho se hace más visible al comparar los registros correspondientes a las primeras aplicaciones de riego en ambos tratamientos.

Con los riegos sucesivos el contenido de humedad conserva una relación también inversa con la frecuencia, siendo mayor cuando los riegos son diarios, o sea a la menor frecuencia, que es la correspondiente al tratamiento 1. Esto hace que la tensión de humedad en este tratamiento sea menor, por tanto, hay una mayor disponibilidad de agua para la planta a menor trabajo por parte de ella, lo cual lógicamente se traduce en mayor desarrollo.

En los tensiómetros # 4 y 5 se observa, ver tablas de registro, que cuando la aplicación es diaria la variación del humedecimiento en esta zona es mayor que para esta misma zona, pero con una frecuencia de aplicación de 3 días, debido a que los avances del frente de humedad están en correspondencia con el grado de aplicación.

C. RELACION ENTRE TENSION, AVANCE DEL FRENTE DE HUMEDAD Y EL DISTANCIAMIENTO ENTRE GOTEROS.

Cuando el frente de humedad se localiza a una distancia pequeña con relación a la superficie, la tensión varía inversamente con el grado de aplicación; ver Tabla 3 y 4, Figuras 34 y 35. Cuando el frente de humedad se localiza a una distancia apreciable de la superficie, la tensión está en relación directa con el grado de aplicación, debido a que el avance del frente es más rápido a mayor grado de aplicación. En los puntos cercanos al frente de humedad se presenta una variación inversa entre tensión y el grado de aplicación, ésto puede ser debido a que el grado de aplicación, el cual influye en la velocidad de alejamiento del frente de humedad, que es donde se presentan los cambios de tensión más notorios.

Se observa que la tensión y la frecuencia de aplicación guardan una relación directa, a mayores intervalos de riego, mayores tensiones, ver Figuras 7 al 12 y 13 al 18. Especialmente ésto se nota en la zona más superficial del suelo donde se localizan los tensiómetros # 1 y # 3 que son los que registran en forma más inmediata por estar más cercanos al punto de descarga de los goteros.

Al observar la formación del avance del frente de humedad se encontró lo siguiente:

1. A una mayor descarga o grado de aplicación la franja húmeda que se extiende en la superficie del suelo es mayor. También es posible extender la franja de humedad aumentando el tiempo de aplicación. Ver Figuras 32, 33, 34 y 36.
2. A mayor descarga el movimiento del agua en el suelo y en sentido vertical es mayor, ésto se puede observar en las Tablas 1, 2, 3 y 4 que muestran que los tensiómetros 4 y 5, que están casi en línea con el punto de descarga y a mayor profundidad que los tensiómetros 1 y 3, registran más o menos rápido los cambios de humedad. Este mayor movimiento del agua va a permitir la formación y traslape de los frentes de humedad más cerca o más lejos de la superficie del suelo.

Se observa que con descargas menores y diarias la formación del frente de humedad se realiza más cerca de la superficie y su perfil es más definido. Ver Tablas 3 y 4 y Figura 35. Lo contrario ocurre cuando la descarga es mayor, la formación y traslape de los frentes de humedad se hacen a mayores profundidades. Ver Tablas 1 y 2 y Figura 31.

Para corroborar lo anterior se analizó el comportamiento de la humedad en la zona intermedia entre los dos goteros donde se encontraba el tensiómetro 2, en todas las cajas, ya que la humedad de esta zona es producto del avance lateral de los dos frentes de humedad que extienden los dos goteros y de su correspondiente traslape.

Se observa en las Tablas 1 y 2, que en los dos suelos este tensiómetro siempre registra las mayores tensiones cuando las aplicaciones se realizan con intervalos de 3 días, o sea con el Tratamiento 1. Ver Figuras 7, 8, 9, 13, 14 y 15.

Al analizar el comportamiento de este mismo tensiómetro con el Tratamiento 2, encontramos lo siguiente:

- a. El suelo arenoso presenta valores inferiores de tensión o un mayor contenido de humedad en esta zona, que las presentes en las zonas donde se encuentran localizados los tensiómetros 1 y 3, a la misma profundidad. Ver Figuras 19, 20 y 21. Indicando que hay un mayor avance lateral del frente de humedad con pequeñas descargas.



- b. En el suelo franco arcilloso este tensiómetro registra mayores tensiones o un menor contenido de humedad en esta zona, que las registradas en las zonas de localización de los tensiómetros 1 y 3. Ver Figuras 25, 26 y 27.

El comportamiento de los tensiómetros 1 y 3 en ambos suelos presentan similares variaciones en las tensiones en estas zonas, lo que indica que no hubo mayores alteraciones cuando los suelos fueron empacados.

Es de importancia detallar el comportamiento de los tensiómetros 4 y 5 localizados a 30 cms. de la superficie del suelo, en los dos suelos y en ambos tratamientos. Estos tensiómetros en el suelo franco arcilloso presentan las más altas variaciones de tensión en estas zonas, producto de una mayor actividad de succión de las plantas. Ver Figuras 10 y 11, 28 y 29. Las variaciones más notables se presentan cuando las aplicaciones son diarias. También se presentan variaciones notables entre estos tensiómetros a pesar de estar situados a la misma profundidad, pudiendo ésto ocurrir por una distribución no uniforme de las raíces.

En términos generales se observa que a profundidades mayores de 30 cms. se van presentando en forma gradual las demandas de riego a medida que las plantas van desarrollando su sistema radicular.

Las variaciones notables registradas por los tensiómetros 4 y 5 y 6 en el contenido de humedad de esas zonas, puede estar limitada por la profundidad, ya que sólo se dispone de 60 cms. y las raíces al alcanzar esta máxima profundidad invierten su crecimiento desplazándose perpendicularmente en el fondo de la caja o verticalmente hacia arriba.

## VII . CONCLUSIONES

- La relación que se observó entre los cambios de tensión, los cambios de contenido de humedad, la textura, la frecuencia de riego y el grado de aplicación indican que su conocimiento es determinante para diseñar un sistema de riego por goteo, en lo que a espaciamento entre goteros y a volúmenes de agua a aplicar se refiere.
- Distanciamientos cortos entre goteros presentan mejores condiciones de tensión de humedad para aplicaciones diarias con descargas menores en ambos suelos.
- En el presente trabajo se observa que para la distancia que fue utilizada entre goteros, el mayor o menor movimiento del agua permite la formación y traslape de los frentes de humedad más cerca o más lejos de la superficie del suelo, o sea que un mayor grado de aplicación favorece un mayor alejamiento del frente de humedad desde el sitio de descarga. Por lo tanto, el conocimiento del avance y del alcance del frente de humedad, es un factor importante para la determinación del espaciamento entre goteros.

- Una frecuencia de riego diaria exige un menor grado de aplicación, para poder mantener un frente de humedad localizado a poca profundidad que permita el mantenimiento de bajas tensiones de humedad con pocas variaciones, lo cual se observó tuvo que ver con la textura de los dos suelos estudiados.
- El traslape del frente de humedad en el suelo arenoso presenta más estabilidad cuando las aplicaciones son diarias.
- Las variaciones que muestran las lecturas en los tensiómetros indican que fueron un medio adecuado para conocer el comportamiento del movimiento del agua en el suelo con relación al grado de aplicación y a la localización de los goteros. Los tensiómetros 1 y 3 presentan un comportamiento diferente a los tensiómetros 4 y 5 bajo el mismo tratamiento y ello permite detallar como fue el alejamiento y movimiento del agua en el perfil del suelo.
- Algunas veces puede resultar más práctico aumentar el grado de aplicación que disminuir el distanciamiento entre goteros lográndose el mismo efecto, mantener condiciones óptimas de humedad para la planta.

- Este trabajo comprueba que la característica esencial del riego frecuente, es el mantenimiento de una uniformidad y baja succión de humedad del suelo.

## BIBLIOGRAFIA

1. Blair, E.F. 1969. Manual de Riegos y Avenamiento. IICA. Instituto Internacional de Ciencias Agrícolas. 322 p.
2. EE.UU. Departamento de Agricultura. Servicio de Conservación de Suelos. 1974. Relación entre Suelo - Planta - Agua. 100 p.
3. Goldberg, D. y M. Shmueli. 1975. El riego por goteo un método que puede usarse en condiciones desérticas y áridas con agua y suelo de elevada salinidad. Centro Regional de Ayuda Técnica (A.I.D.). México. 8 p.
4. Goldberg, D.B. Gornat y V. Bar. 1975. Distribución de las raíces, el agua y los minerales como resultado del riego por goteo. Centro Regional de Ayuda Técnica (A.I.D.). México. 8 p.
5. Goldberg, D. y M. Rinot y N. Karu. 1974. Efecto de los intervalos en el riego por goteo sobre la distribución y utilización de la humedad del suelo en un viñedo. Centro Regional de Ayuda Técnica (A.I.D.), México. 8 p.

6. Goldberg, D. y M. Shmueli. 1974. Efecto de la distancia de los goteros sobre la salinidad del suelo, crecimiento y el rendimiento de maíz dulce en una zona árida. Centro Regional de Ayuda Técnica (A.I.D.). México. 6 p.
7. Goldberg, S.D. 1974. Conceptos modernos sobre riego. Centro Regional de Ayuda Técnica (A.I.D.). 19 p.
8. Goldberg, D. 1974. Métodos y técnicas de riego en Israel. Centro Regional de Ayuda Técnica (A.I.D.). México. 10 p.
9. Gornat, B. y Goldberg, D. 1975. El uso de tensiómetros para medir la tensión del agua del suelo y determinar el régimen de riego. Centro Regional de Ayuda Técnica (A.I.D.). México. 11 p.
10. Hernández Abreu y Rodrigo López. El Riego por Goteo. 1977. Hojas Divulgadoras (España), Nro. 11-12/77 H.D. : 15-18.
11. Hidalgos, Granados, A. 1971. Métodos modernos de riego de superficie. Ediciones Aguilar, S.A. Madrid. 463 p.

12. Israelsen, O.W. 1965. Principios y aplicaciones del riego. 2a. Edición. Editorial Reverté, S.A. Barcelona. 396 p.
13. Johnson, A.I. 1962. Methods of measuring soil moisture in the field. Geological Survey Water - Supply Paper. 1619. United States. Washington.
14. Lytleton, Lyont y Buckman, Harry, O. 1952. Edafología, naturaleza y propiedades de los suelos. ACME- Agency Soc. Resp. Ltda. Buenos Aires. 320 p.
15. Piña, Davalos, A. 1978. Diseño, proyecto y establecimiento de equipos de riego por goteo. Memorandum Técnico, Nro. 374. (1-160).
16. Russell, John y E. Walter Russell. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Traducción de la 9a. Edición Inglesa por Gaspar González. Ediciones Aguilar. Madrid. 801 p.



17. Riego por Goteo. 1976. Cosas y hechos que conviene saber. Agricultura de las Américas (USA): 25 (12): 50-55.
18. Shmueli, M. y D. Goldberg. 1975. Respuesta de las plantas de pimiento sometidas al riego por goteo con varios regímenes de agua. Centro Regional de Ayuda Técnica (A.I.D.). México. 8 p.
19. Vaughne, Hansen. 1954. Infiltración y movimiento del agua en el suelo y adaptación del inglés de José Luis de la Loma. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Memorandum Técnico. México. Vol. 79(2).

**APENDICE DE TABLAS**

**TABLA 1 OBSERVACIONES DIARIAS DEL TRABAJO DE INVERNADERO**

CAJA Nº 1

GRADO DE APLICACION: 1.05 litros/hora

SUELO Franco arcilloso

FRECUENCIA DE APLICACION: Cada 5 días

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
21 mayo	4 pm	2.5	5.3	6.4	4.9	7.6	4.6	8.9		1.920
22 mayo	8 am	2.5	4.8	10.7	5.5					
22 mayo	9 am		5.4		6.1					
23 mayo	8 am	2.5	3.5	8	9.1					0.960
23 mayo	4 am		2.5	4.7	2.6					
24 mayo	8 am	1.5	4.8	4.7	4.3					
24 mayo	4 pm		5.5	5.75	5.25					0.960
25 mayo	8 am	4.75	2.9	3.4	5					
25 mayo	4 pm		3.2	3.5	3.3					
26 mayo	8 am	2.25	5	5.5	5.5					
26 mayo	4 pm		5.4	5.7	5.9	4.7	4.1			
27 mayo	8 am	4	6.5	6.6	7.0	10				
27 mayo	4 pm		7	7.05	7.6	9.8				1.920
28 mayo	8 am	4.25	2.3	3	2.6	3	3.4			
28 mayo	4 pm		3	3.2	2.85	3.1	4			
29 mayo	8 am	2.5	4.5	4.7	4.4	4.4	6.1			
29 mayo	4 pm		4.65	4.55	4.6	4.6	6.15			
30 mayo	8 am	3.25	5.95	6	5.4	5.7	7.8	4.6		
30 mayo	4 pm		6.9	6.4	6.6	5.8	7.5			1.920



FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
11 junio	4 pm		3.1	4.3	3	4.5	5.1	4.6	9.5	
12 junio	8 am	5.0	3.9	4.35	3.65	4.45	5.1	4.5	10.5	
12 junio	4 pm		4.2	4.9	4.15	4.5	5.1	4.5	10.5	
13 junio	8 am	4.0	5	5.4	4.75	4.5	5.4	4.5	11.0	1.6
13 junio	4 pm		1.7	3	1.5	1.8	2.2	2.9	11.3	
14 junio	8 am	4.75	2.6	3	2.2	1.8	2.3	2.6	11.5	
14 junio	4 pm		2.7	3	2.6	1.9	2.3	2.6	11.5	
15 junio	8 am	4.0	3.1	3.4	2.65	1.9	3	2.6	11.5	
15 junio	4 pm		3.4	4	3.5	1.9	5.1	2.7	12	
16 junio	8 am	3.25	4	4.3	3.8	2.65	5.4	2.7	12.5	0.245
16 junio	4 pm		3	4.8	2.35	2.9	3.4	2.7	13.0	
17 junio	8 am	3.25	3.8	4.9	3.3	2.9	3.7	2.7	13.7	
17 junio	4 pm		4	5.25	3.8	3	3.8	2.75	14	
18 junio	8 am	4.15	4.7	5.5	4.5	3.3	3.9	2.8	14.2	
18 junio	4 pm		5.1	6.1	4.9	3.4	3.85	2.8	14.5	
19 junio	8 am	4.0	6.1	6.1	5.9	3.4	4.3	3	14.5	0.7
19 junio	4 pm		1.7	6.55	1.5	3.6	4.3	3	14.5	
20 junio	8 am	5.0	2.65	5.4	2.15	4.1	4.25	3.1	15.0	
20 junio	4 pm		3	5.4	2.6	3.6	4.3	3.1	15.0	
21 junio	8 am	5.0	3.9	5.4	3.3	3.6	4.4	3.65	16.0	
21 junio	4 pm		4.25	5.7	4	3.6	4.4	3.75	16	
22 junio	8 am	5.0	5.3	6.3	4.6	4	5.1	3.7	16.3	0.855
23 junio	8 pm	3.7	2.45	5	1.9	3.6	3.9	3.6	17	

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cm. de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
23 junio	4 pm		2.7	5	2.4	3.5	4	3.7	18.5	
24 junio	8 am	5.3	3.5	5	2.95	3.6	4.2	3.6	19.7	
24 junio	4 pm		3.8	5.5	3.5	3.75	4.2	3.7	20	
25 junio	8 am	5.25	5	5.9	4.45	3.8	4.65	3.7	20.5	0.950
25 junio	4 pm		1.6	6	1.4	3.2	3.4	3.7	20.5	
26 junio	8 am	6.0	2.3	4.7	1.6	3.2	3.4	3.3	21	
26 junio	4 pm		2.5	4.7	2	3.2	3.4	3.3	21	
27 junio	8 am	6.65	3.1	4.7	2.6	3.3	3.5	3.3	21.5	
27 junio	4 pm		3.6	4.8	3.2	3.6	3.9	3.3	21.5	
28 junio	8 am	4.75	4.7	5.6	4.3	4.4	4.8	3.3	22.0	0.960
28 junio	4 pm		1.7	5.6	1.4	3.25	4.75	3.4	22.5	
29 junio	8 am	4.25	2.3	4.8	1.7	3.3	4.2	3.3	23	
30 junio	8 am	3.75	3.15	4.8	2.55	3.5	4.9	3.3	23.5	
30 junio	4 pm		3.6	5.4	3.1	4.4	5	3.3	23.5	
10. julio	8 am	4.25	4.7	6.1	4.7	4.8	5.8	3.7	27	0.950
10. julio	4 pm		1.5	6.5	1.2	3.3	4.4	3.85	27.5	
2 julio	8 am	2.0	2.0	5.4	1.6	3.3	4.3	3.8	28	
2 julio	4 pm		2.3	5.4	1.65	3.6	4.4	3.8	29	
3 julio	8 am	4.25	2.85	5.4	2.2	4	4.8	3.9	29	
3 julio	4 pm		3.2	6.1	2.8	4.7	4.8	3.85	29.5	
4 julio	8 am	4.0	4	6.4	3.7	5.4	6	4.1	30	0.850
4 julio	4 pm		1.5	6.7	1.2	3.6	4.45	4.35	30	
5 julio	8 am	5.5	1.9	6	1.4	3.7	4.7	4.25	30	

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
5 julio	4 pm		2.2	6	1.7	4.6	5	4.3	30	
6 julio	8 am	6.75	2.7	6.3	1.9	5.7	6.7	4.5	32.5	
6 julio	4 pm		3	7.6	2.7	7.1	7.35	4.8	32	
7 julio	8 am	6.5	4.8	10.1	4.1	8.5	10.1	5.7	32.5	1.600
7 julio	4 pm		1.6	9.2	1.2	1.4	1.4	3.9	33	
8 julio	8 am	6.0	2	5.3	1.5	1.8	2.4	2.8	33.5	
9 julio	8 am	6.5	2.4	5.7	1.8	3	4.5	2.95	34.5	
9 julio	4 pm		2.8	7.2	2.4	4.2	5.9	3.35	34.5	
10 julio	8 am	6.5	4.1	10.5	3.65	5.9	8.9	4.3	35.5	1.50
10 julio	4 pm		1.5	9.4	1.2	1.4	1.6	3.1	35.5	
11 julio	8 am	5.0	1.9	6.7	1.2	1.8	2.9	2.9	37	
11 julio	4 pm		2	6.5	1.65	2.4	3.9	2.9	37.5	
12 julio	8 am	4.0	2.45	8.7	1.7	3.1	5.5	3.45	39	
12 julio	4 pm		2.9	10.3	2.3	4.4	8.3	4	39.5	
13 julio	8 am	5.5	4.6	0.6	3.6	6	10.6	5.3	41.5	1.80
13 julio	4 pm		1.5	0.4	1.2	1.4	1.2	4.1	42.5	
14 julio	8 am	3.0	1.8	0.4	1.3	1.8	1.9	2.1	45	
14 julio	4 pm		2	0.3	1.7	2.7	2.7	3.2	46	
15 julio	8 am	2.5	2.4	0.3	1.8	3.25	3.5	4.2	47.5	
16 julio	8 am	2.5	3.9	0.2	2.5	5.7	5.9	6.2	50	2.0
16 julio	4 pm		1.5	0.2	1.3	1.2	1.0	2.8	50.5	
17 julio	8 am	2.5	1.6	1.4	1.3	1.4	1.5	2.5	52	





**TABLA 2 OBSERVACIONES DIARIAS DEL TRABAJO DE INVERNADERO**

CAJA Nº 2 GRADO DE APLICACION: 1.05 litros/hora

SUELO Arenoso FRECUENCIA DE APLICACION: cada 3 días

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
21 mayo	5 pm		12.6	13.3	13.7	12.5	11.2	12.5		1.92
22 mayo	8 am	2.5	5.6		4.8					
22 mayo	4 pm		6.4		6.2					
23 mayo	8 am	2.5	9.4		8.9					0.96
23 mayo	4 pm		3		3					
24 mayo	8 am	1.5	4.9	4.5	4.6					
24 mayo	4 pm		5.5	5.2	5					0.96
25 mayo	8 am	4.75	3.7	3.5	3.4					
25 mayo	4 pm		4.1	4.2	4.0					
26 mayo	8 am	2.25	6	6.5	5.8					
26 mayo	4 pm		6	6.1	6.2					
27 mayo	8 am	4.0	7	7.2	7.3					
27 mayo	4 pm		7.6	7.4	7.4	6.7				1.92
28 mayo	8 am	4.25	3.35	3	3.3	3.5	2.5			
28 mayo	4 pm		4.1	4	3.8	3.5	2.5			siembra
29 mayo	8 am	2.5	5.2	4.85	4.9	4.5	3.8			
29 mayo	4 pm		5.2	5.7	5.2	4.6	4.1			
30 mayo	8 am	3.25	6.3	6.4	6.3	5.4	5			
30 mayo	4 pm		6.6	6.4	6.3	5.6	5.			1.92

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIONMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
31 mayo	8 am	4.25	4.1	2.7	2.8	2.6				
31 mayo	4 pm		3.5	3.5	3.3	2.6	2.4			
10. junio	8 am	3.5	4.15	4	4.4	3.2	3.1	2.9		
10. junio	4 pm		4.6	4.9	4.5	3.5	3	3		
2 junio	8 am	2.5	5.5	5.8	5.8	4	4	4.0	1.5	
2 junio	4 pm		5.6	5.9	5.7	4.2	4	3.2	1.5	
3 junio	8 am	3.0	3.5	3.9	3.7	3.8	3.4	3.2	2.0	
3 junio	4 pm		4.2	4.3	3.8	3.8	3.4	3.1	2.5	
4 junio	8 am	3.0	4.9	4.9	4.8	3.7	3.4	3.1	3.0	
4 junio	4 pm		4.8	5.4	4.8	3.75	3.4	3.1	3.0	
5 junio	8 am	3.0	5.4	6.1	5.8	4.1	3.85	3.1	3.5	
5 junio	4 pm		5.85	6.2	5.9	4.1	4	3.15	3.5	
6 junio	8 am	2.5	6.35	6.95	6.6	4.6	4.4	3	4.5	
6 junio	4 pm		6.4	7.2	6.6	4.6	4.4	3.45	4.5	
7 junio	8 am	2.0	6.95	7.4	7.2	5.1	4.9	4.1	5.0	
7 junio	4 pm		3.4	3.55	3	4.5	4	4	5.5	
8 junio	8 am	2.5	4.2	4.35	4.2	4.3	4	3.6	6.0	
8 junio	4 pm		4.6	5	4.6	4.2	4	3.5	6.5	
9 junio	8 am	3.0	4.9	5.2	5	4.2	3.9	3.5	6.5	
9 junio	4 pm		5	5.65	5.4	4.2	3.9	3.5	6.5	
10 junio	8 am	4.0	5.5	6.1	6	4.2	4	3.5	7.0	
10 junio	4 pm									
11 junio	8 am	3.0	4.2	4.4	4.5	4.1	3.45	3.4	7.8	

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
11 junio	4 pm		4.6	5	4.5	4.1	3.5	3.35	8	
12 junio	8 am	5.0	5.5	5.9	5.6	4.1	3.6	3.35	8.5	
12 junio	4 pm		5.5	6.4	5.65	4.1	3.6	3.35	8.5	
13 junio	8 am	4.0	6.4	7.3	6.9	4.15	4.6	3.4	9	1.0
13 junio	4 pm		2.7	3	2.6	3.5	3.4	3.3	9.5	
14 junio	8 am	4.75	4	3.8	3.5	3.3	3.35	2.8	9.5	
14 junio	4 pm		4	4.4	4.1	3.3	3.4	2.8	9.5	
15 junio	8 am	4.0	4.9	5.1	5	3.3	3.4	2.8	10	
15 junio	4 pm		4.9	5.5	5.1	3.35	3.5	2.8	10	
16 junio	8 am	3.25	5.8	6.5	5.9	3.9	3.5	2.9	10	0.32
16 junio	4 pm		5.4	5	4	3.9	3.85	2.8	10.5	
17 junio	8 am	3.25	5.5	5.4	4.9	3.9	3.8	2.8	11.5	
17 junio	4 pm		5.5	5.5	5.1	4	3.9	2.9	12	
18 junio	8 am	4.5	6.05	6.8	6.3	4.2	4.15	2.9	12.2	
18 junio	4 pm		6.2	7.3	6.65	4.35	4.4	3.2	12.5	
19 junio	8 am	4.0	7.2	7.95	7.5	4.9	4.65	3.3	13	0.65
19 junio	4 pm		4	4.5	3.5	4.9	4.4	3.3	13	
20 junio	8 am	5.0	3.3	3.5	3	4.8	4.35	3.3	13	
20 junio	4 pm		5.4	6.2	5.7	4.8	4.35	3.3	13	
21 junio	8 am	5.0	6.6	7.3	6.7	4.8	4.4	3.3	13.5	
21 junio	4 pm		6.7	7.4	7	4.8	4.5	3.3	13.5	
22 junio	8 am	5.0	7.5	8.8	8.1	5.2	5.3	4	13.5	0.8
23 junio	8 am	3.7	5.2	5.6	4.95	4.9	4.4	3.9	13.8	

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de H <sub>2</sub> O						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
23 junio	4 pm		5.5	6.1	5.4	4.9	4.4	4	13.8	
24 junio	8 am	5.3	6.6	7.2	6.6	4.9	4.5	4	13.8	
24 junio	4 pm		6.85	7.25	6.8	4.9	4.5	4	13.8	
25 junio	8 am	5.25	7.7	8.9	8.1	5	5.3	4.05	14	0.90
25 junio	4 pm		3.3	3.8	3	4.9	4.35	4	14	
26 junio	8 am	6.0	4.8	5.3	4.6	4.8	4.3	4	14.5	
26 junio	4 pm		5.25	5.7	5	4.8	4.35	3.9	14.8	
27 junio	8 am	6.65	6.2	7.3	6.4	4.8	4.5	3.9	15.0	
27 junio	4 pm		6.7	7.7	6.7	4.8	4.5	3.9	15	
28 junio	8 am	4.75	7.6	9.4	8.3	5	5.2	4	15.2	0.95
28 junio	4 pm		3.75	4	3.2	4.9	4.4	4	15.5	
29 junio	8 am	4.25	5.5	5.35	4.85	4.9	4.4	4	15.8	
29 junio	4 pm									
30 junio	8 am	3.75	6.8	7.3	6.6	4.8	4.5	4	16	
30 junio	4 pm		6.8	7.6	6.7	4.9	4.5	4	16	
10. julio	8 am	4.25	7.5	9.1	8	5.2	4.9	4	16.0	0.95
10. julio	4 pm		3.3	4	3	4.9	4.5	4	16.0	
2 julio	8 am	2.0	4.9	5	4.8	4.85	4.4	4	16.0	
2 julio	4 pm		4.9	5.7	5	4.35	4.45	4	16.0	
3 julio	8 am	4.25	6	6.3	5.7	4.85	4.5	3.9	16.0	
3 julio	4 pm		6.2	6.8	6	4.8	4.5	4	16.0	
4 julio	8 am	4.0	6.8	7.5	6.8	4.9	4.6	3.9	16.0	0.8
4 julio	4 pm		3.1	3.7	2.82	4.8	4.35	4	16.0	

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
5 julio	8 am	5.5	4.55	4.8	4.3	4.7	4.3	3.9	16.0	
5 julio	4 pm		4.9	5.7	4.85	4.7	4.3	3.9	16.0	
6 julio	8 am	6.75	6	6.7	6	4.7	4.35	3.9	16.0	
6 julio	4 pm		6	7.35	6.4	4.7	4.4	3.9	16.0	
7 julio	8 am	6.5	7	9	7.7	4.9	4.9	4	16.2	0.85
7 julio	4 pm		3.2	4.15	3	4.7	4.4	4	16.2	
8 julio	8 am	6.0	5.15	5.4	4.9	4.7	4.35	3.9	16.5	
8 julio	4 pm									
9 julio	8 am	6.5	6.7	8	6.7	4.8	4.5	3.9	16.8	
9 julio	4 pm		6.8	8.1	6.85	4.8	4.6	3.9	17	
10 julio	8 am	6.5	8	9.9	8.6	5.2	5.3	4	17	0.9
10 julio	4 pm		3.4	4.5	2.25	4.85	4.5	4	17	
11 julio	8 am	5.0	6.2	6.4	4	4.85	4.5	3.9	17.3	
11 julio	4 pm		6.2	6.9	3.2	4.8	4.5	3.9	17.3	
12 julio	8 am	4.0	7	8.7	4.3	5.2	5.2	4	17.3	
12 julio	4 pm		7.4	8.8	3.4	5.2	5.25	4	17.5	
13 julio	8 am	5.5	8.5	10.2	4.4	6	5.8	4.7	17.5	1.1
13 julio	4 pm		3	3.7	2.5	5.2	4.5	4.8	17.5	
14 julio	8 am	3.0	5.2	5.4	4.3	5.1	4.35	4.2	17.5	
14 julio	4 pm		5.55	5.9	5.2	5.1	4.4	4.2	17.5	
15 julio	8 am	2.5	6.3	6.85	5.7	5.1	4.6	4.1	17.6	
16 julio	8 am	2.5	7.2	7.9	6.7	5.1	5	4.2	18.2	1.0
16 julio	4 pm		2.9	3.3	2.4	4.6	3.85	4.1	18.5	



TABLA 3

OBSERVACIONES DIARIAS DEL TRABAJO DE INVERNADERO

CAJA Nº 3

GRADO DE APLICACION: 0.297 litros/hora

SUELO: Arenoso

FRECUENCIA DE APLICACION : Diario

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
22 mayo	8 am	2.5	7.4		7.3					0.64
22 mayo	4 pm									
23 mayo	8 am	2.5	7.4		5.2					0.64
23 mayo	4 pm		4.8		4.2					
24 mayo	8 am	1.5	8.3		8.35					0.64
24 mayo	4 pm		3.5		3.55					
25 mayo	8 am	4.75	6.4		6.8					0.64
25 mayo	4 pm		3.5		3.6					
26 mayo	8 am	2.25	6		6.1					0.64
26 mayo	4 pm		2.8		2.7					
27 mayo	8 am	4.0	4.8		4.7					0.64
27 mayo	4 pm		2.6		2.7					
28 mayo	8 am	4.25	4.5		4.5					0.64
28 mayo	4 pm		2.4		2.3					
29 mayo	8 am	2.5	4.4		4.4					0.64
29 mayo	4 pm		2.35		2.4		4.3	4.5		
30 mayo	8 am	3.25	3.8		3.7		3.8	5.2		0.64
30 mayo	4 pm		1.6		2.1		2.9	4.1		
31 mayo	8 am	4.75	3.7		3.7		3.2	3.9	4	0.64

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
31 mayo	4 pm		2	1.9	2.3	2.5	3.4	4.5		
10. junio	8 am	3.5	3.5	3.5	3	2.9	3.5	4		0.64
10. junio	4 pm		2.2	2	2.4	2.5	3	3.3		
2 junio	8 am	2.5	3.7	4	3.9	2.9	3.3	3.4		0.24
2 junio	4 pm		3.5	3.5	3	2.9	3.3	3.3		
3 junio	8 am	3.0	4.3	4.3	4.2	3.3	3.85	3.4		0.24
3 junio	4 pm		3.6	3.8	3.7	3.3	3.8	3.3		
4 junio	8 am	3.0	4.6	4.7	4.85	3.35	3.8	3.3		0.5
4 junio	4 pm		4.2	4.7	4.2	3.4	3.8	3.3		
5 junio	8 am	3.0	5.2	5.1	5.3	3.5	3.9	3.3		
5 junio	4 pm		5.55	5.2	5.3	3.55	3.9	3.3		
6 junio	8 am	2.5	6.10	6.0	6.3	4.1	4.6	3.5		
6 junio	4 pm		6.9	6.4	5.7	4.15	4.65	3.45		
7 junio	8 am	2.0	6.9	6.8	7.25	4.8	5	4.0		0.3
7 junio	4 pm		4.7	5.5	4.8	4.8	5	4.0		
8 junio	8 am	2.5	5.9	5.5	6.1	4.6	5	4.0		0.5
8 junio	4 pm		4.7	5.1	4.9	4.6	5	4		
9 junio	8 am	3.0	5.7	5.5	6	4.5	5	4		
9 junio	4 pm		6.2	5.9	6	4.6	5	4		
10 junio	8 am	4.0	6.9	6.7	7.15	4.6	5	4		0.3
10 junio	4 pm									
11 junio	8 am	3.0	7	7	7.35	4.85	5.2	3.4		0.360
11 junio	4 pm		4.3	5.4	4.9	4.8	5.15	4		



FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIONOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
12 junio	8 am	5.0	6.3	6.15	6.9	4.85	5.15	4.1	8.5	0.300
12 junio	4 pm		4.9	6.75	5	4.8	5.2	4.1	8.7	
13 junio	8 am	4.0	6.9	6.4	7.1	5	5.2	4.2	9.2	0.300
13 junio	4 pm		4.9	5.65	5.4	4.9	5.2	0.4	9.2	
14 junio	8 am	4.75	6.8	6.7	7.3	5	5.2	0.3	9	0.24
14 junio	4 pm		5.5	6.4	6.1	4.9	5.2	0.4	9.5	
15 junio	8 am	4.0	7.6	7.5	8	5.3	5.7	0.4	10	0.3
15 junio	4 pm		7	7.4	7.3	5.3	5.8	0.3	10.2	
16 junio	8 am	3.25	8.7	8.2	9	5.75	6	0.25	10.5	0.3
16 junio	4 pm		5.25	6.8	5.8	5.8	6.1	0.2	10.7	
17 junio	8 am	3.25	6.8	6.8	7.1	5.8	6	0.2	10.7	
17 junio	4 pm		7.7	7.4	7.25	5.8	6.1	0.2	11	
18 junio	8 am	4.5	9.1	8.85	9.6	6.15	6.5	0.2	11	0.3
18 junio	4 pm		6.3	7.1	6.7	6.1	6.4	0	11	
19 junio	8 am	4.0	8.65	8.05	9.3	6.15	6.4	0	11	0.3
19 junio	4 pm		5.7	6.8	5.85	6.15	6.4	0	11.5	
20 junio	8 am	5.0	8.15	7.7	8.7	6.15	6.4	0	11.5	0.3
20 junio	4 pm		6.6	7.1	6	6.15	6.45	0	12	
21 junio	8 am	5.0	8.8	8.45	9.2	6.2	6.6	0	12.5	0.3
21 junio	4 pm		7	7.2	5.8	6.2	6.6	0	12.5	
22 junio	8 am	5.0	8.5	7.9	9	6.25	6.6	0	13	0.34
22 junio	4 pm									
23 junio	8 am	3.7	8.5	7.7	8.5	6.55	6.55	0	13.7	0.3

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA AFPLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
23 junio	4 pm		5.85	7.1	5.8	6.55	6.6	0.1	15.7	
24 junio	8 am	5.3	8.05	7.65	8.25	6.55	6.6	0.2	14	0.4
24 junio	4 pm		5.3	6.5	4.9	6.6	6.6	0.8	14	
25 junio	8 am	5.25	8	7.5	8.2	6.5	6.55	1.1	14.5	0.4
25 junio	4 pm		5.6	6.55	5.05	6.5	6.6	1.1	14.5	
26 junio	8 am	6.0	8.15	7.55	8.3	6.55	6.6	1.4	14.5	0.4
26 junio	4 pm		5	6.05	4.85	6.6	6.55	1.5	14.5	
27 junio	8 am	6.65	7.6	7.15	7.7	6.4	6.5	1.6	14.5	0.4
27 junio	4 pm		5.4	6.05	4.8	6.45	6.45	1.9	14.5	
28 junio	8 am	4.75	7.8	7.3	7.7	6.3	6.4	1.9	14.5	0.4
28 junio	4 pm		5.2	5.9	4.8	6.3	6.3	2.2	14.5	
29 junio	8 am	4.25	7.7	6.8	7.5	6.2	6.2	2.4	14.5	0.4
30 junio	8 am	3.75	7.9	7.4	7.7	6.2	6.2	2.55	15	0.3
30 junio	4 pm		5.5	6	4.7	6.3	6.15	2.7	15.7	
10. julio	8 am	4.25	7.7	7.35	7.6	6.2	6.2	2.7	15.5	0.3
10. julio	4 pm		5.3	6.1	4.75	6.3	6.15	2.7	15.5	
2 julio	8 am	2.0	7.6	7.2	7.4	6.2	6.1	2.9	15.8	0.3
2 julio	4 pm		4.8	6.1	4.4	6.2	6.1	2.9	15.8	
3 julio	8 am	4.25	7	6.7	6.6	6.2	6.1	2.9	16	0.3
3 julio	4 pm		5.1	6	5	6.2	6	2.9	16	
4 julio	8 am	4.0	7.4	7	7.1	6.1	5.9	3	16	0.34
4 julio	4 pm		4.5	5.8	4.3	6.1	5.9	3.1	16	
5 julio	8 am	5.5	7.4	6.8	7.4	6	5.9	3.1	16	0.52

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
5 julio	4 pm		4.8	5.9	4.6	6	5.8	3.2	16	
6 julio	8 am	6.75	7.6	7	7.3	6	5.8	3.2	16	0.320
6 julio	4 pm		5	6	4.7	6	5.8	3.35	16.2	
7 julio	8 am	6.5	8	7.4	7.7	6	5.8	3.35	16.2	0.4
7 julio	4 pm		4.6	5.9	4.3	6	5.8	3.35	16.2	
8 julio	8 am	6.0	7.7	6.9	7.4	6	5.8	3.45	16.4	0.36
9 julio	8 am	6.5	8	6.5	7.85	6	5.8	3.6	17	0.4
9 julio	4 pm		4.8	5.7	4.3	6	5.8	3.8	17	
10 julio	8 am	6.5	7.8	6.9	7.5	5.9	5.8	3.7	17.5	0.4
10 julio	4 pm		4.75	5.5	4.4	6	5.8	3.9	17.5	
11 julio	8 am	5.0	7.9	7.2	7.7	6	5.8	3.9	17.8	0.4
11 julio	4 pm		4.8	5.6	4.2	6	5.8	4	18	
12 julio	8 am	4.0	7.6	6.6	7.1	5.9	5.8	4	18.3	0.4
12 julio	4 pm		5.2	5.6	4.7	6	5.8	4.1	18.5	
13 julio	8 am	5.5	7.6	6.7	7.2	5.9	5.8	4.1	18.5	0.4
13 julio	4 pm		4.6	5.4	4.5	6	5.8	4.2	18.7	
14 julio	8 am	3.0	7.5	6.8	7.3	5.9	5.8	4.1	19	0.4
14 julio	4 pm		4.5	5.3	4.3	6	5.8	4.1	19.5	
15 julio	8 am	2.5	6.4	5.8	6.1	5.9	5.8	4.1	19.5	0.4
16 julio	8 am	3.5	6.3	5.3	5.9	5.9	5.7	4.1	20.5	0.3
16 julio	4 pm		4.5	4.8	4.5	5.8	5.5	4.2	21	
17 julio	8 am	2.5	6.5	5.4	6.3	5.7	5.5	4.2	21.5	0.3



**TABLA 4 OBSERVACIONES DIARIAS DEL TRABAJO DE INVERNADERO**

CAJA N° 4

GRADO DE APLICACION: 0.297 litros/hora

SUELO: Franco arcilloso

FRECUENCIA DE APLICACION : Diaria

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
22 mayo	8 am	2.5	4.2		3.8					0.64
22 mayo	4 pm				7.5					
23 mayo	8 am	2.5	2.3		2.3					0.64
23 mayo	4 pm		4.2		3.6					
24 mayo	8 am	1.5	7.2		4.8					0.64
24 mayo	4 pm		2.5		2.2					
25 mayo	8 am	4.75	5.1		3.4					0.64
25 mayo	4 pm		2.2	3.2	2.8					
26 mayo	8 am	2.25	4.3	5.1	3					0.64
26 mayo	4 pm		2	1.9	1.9					
27 mayo	8 am	4.0	3.4	3.6	2.4					0.64
27 mayo	4 pm		1.5	1.5	1.5					
28 mayo	8 am	4.25	3.2	3.4	2.7					0.64
28 mayo	4 pm		1.6	1.6	1.8					
29 mayo	8 am	2.5	3	3.1	3					0.64
29 mayo	4 pm		1.5	1.5	1.35	3.2	3.10			
30 mayo	8 am	3.25	3	3	2.7	3.3	2.3	3		0.64
30 mayo	4 pm		1.5	1.4	1.0	2.3	1.8	10.1		
31 mayo	8 am	4.25	2.5	2.3	2.3	2.3	1.7	3.4		0.64

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
31 mayo	4 pm		1.5	1.4	1.1	1.8	1.4	2.5		
10. junio	8 am	3.5	2.4	2.2	2	1.8	1.6	2.5		0.64
10. junio	4 pm		1.5	2	1	1.1	1.4	2.2		
2 junio	8 am	2.5	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	2.1	1.5	0.24
2 junio	4 pm		1.8	2.15	1.3	2.1	1.8	2.15	1.5	
3 junio	8 am	3.0	2.5	2.2	2.2	2.2	2	2.15	2.0	0.24
3 junio	4 pm		1.8	2.15	2	2.2	2	2.15	2.0	
4 junio	8 am	3.0	2.3	2.2	2.1	2.25	2	2.15	2.5	0.18
4 junio	4 pm		2.2	2.5	1.7	2.2	2.1	2.1	2.5	
5 junio	8 am	3.0	2.5	2.5	2.35	2.8	2.1	2.1	3.0	
5 junio	4 pm		2.9	2.9	2.6	2.8	2.3	2.15	3.5	
6 junio	8 am	2.5	3.45	4.1	3.25	2.9	2.35	2.2	4.0	
6 junio	4 pm		3.6	4.2	3.55	3	2.5	2.2	4.5	
7 junio	8 am	2.0	4.3	5.3	4.1	3.1	2.85	2.15	4.5	0.5
7 junio	4 pm		2.7	5.4	1.8	3.2	2.9	2.3	5.0	
8 junio	8 am	2.5	3	5	2.8	3.3	2.9	2.4	5.0	0.24
8 junio	4 pm		2.1	4.3	1.5	3.5	2.8	2.5	5.5	
9 junio	8 am	3.0	2.8	4.2	2.2	3.8	2.9	2.5	6	
9 junio	4 pm		3	4.2	2.6	3.7	3.2	2.7	6	
10 junio	8 am	4.0	3.6	4.25	3.3	3.8	3.2	2.7	6.5	0.56
11 junio	8 am	3.0	3.5	5.4	2.8	3.9	3.25	2.75	7.4	0.56
11 junio	4 pm		1.7	4.9	1.35	3.8	3.2	2.75	8	
12 junio	8 am	5.0	2.6	4.3	2.1	3.8	3.25	2.7	8.7	0.24

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIOMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
12 junio	4 pm		2	4.3	1.3	3.8	3.5	2.9	9	
15 junio	8 am	4.0	2.6	4.3	2	4.11	3.35	3	9.2	0.3
15 junio	4 pm		1.7	4.1	1.1	4.2	3.3	3	9.5	
14 junio	8 am	4.75	2.15	3.6	1.7	4.1	3.35	3	9.5	0.4
14 junio	4 pm		2.1	3.6	1.5	4.3	3.35	3	9.5	
15 junio	8 am	4.0	2.2	3.6	1.7	4.1	3.35	3	10	0.11
15 junio	4 pm		2.6	4.15	2	4.15	3.8	3	10.5	
16 junio	8 am	3.75	3	4.2	2.6	4.2	3.7	3	11.3	0.3
16 junio	4 pm		1.6	4.9	1.2	4.4	3.9	3	11.5	
17 junio	8 am	3.25	2	4.5	1.7	4.6	3.95	3	12	
17 junio	4 pm		2.25	4.6	2.1	4.7	4.3	3.15	12.3	
18 junio	8 am	4.5	3.05	4.9	3.1	4.35	4	3.15	12.7	0.3
18 junio	4 pm		1.6	5.8	1.2	4.5	4.6	3.15	13	
19 junio	8 am	4.0	2	5.3	1.8	4.6	4.3	3.2	13.5	0.3
19 junio	4 pm		1.3	5.4	1.2	4.7	5.25	3.2	14	
20 junio	8 am	5.0	1.8	4.4	1.6	4.6	4.8	3.2	15.0	0.24
20 junio	4 pm		1.3	4.5	1.15	4.6	5.5	3.2	15	
21 junio	8 am	5.0	1.8	4.4	1.5	4.65	5.35	3.2	15.5	0.18
21 junio	4 pm		1.5	4.65	1.5	4.65	6.3	3.6	15.7	
22 junio	8 am	5.0	1.9	4.7	1.7	4.7	5.8	3.55	16	0.18
23 junio	8 am	3.7	2	6.05	2.05	4.75	6.8	3.6	17	0.18
23 junio	4 pm		1.7	6.9	1.4	4.7	8.1	3.55	17.5	

FECHA	HORA	EVAPORACION DIARIA en mm	TENSIONMETROS en cms de Hg						ALTURA PLANTA en cms	VOLUMEN DE AGUA APLICADA en litros
			1	2	3	4	5	6		
24 junio	8 am	5.3	2.1	6.9	2.2	5.3	8.4	3.9	16.0	0.580
24 junio	4 pm		1.3	7.55	1.1	5.4	9.8	3.9	18.5	
25 junio	8 am	5.25	1.4	4.2	1.3	5.2	9	3.95	19.5	0.3
25 junio	4 pm		1.3	4.2	1.1	5.3	10	4	20	
26 junio	8 am	6.0	1.4	3.65	1.15	4.9	9	3.95	21	0.4
26 junio	4 pm		1.3	3.55	1.0	4.9	10.3	3.95	21	
27 junio	8 am	6.65	1.4	3.3	1.1	4.4	9	3.9	22	0.4
27 junio	4 pm		1.3	3.25	1	4.3	10.5	3.9	22.5	
28 junio	8 am	4.75	1.35	3.25	1.1	4	9.4	3.85	23	0.4
28 junio	4 pm		1.3	3.3	1	4	10.8	3.8	23	
29 junio	8 am	4.25	1.4	3.3	1.1	4.1	9.8	3.7	23.5	0.3
30 junio	8 am	3.75	1.4	3.5	1.1	4.6	12.6	3.8	24.5	0.61
30 junio	4 pm		1.25	3.4	1.0	5	10.6	3.7	25.5	
10. julio	8 am	4.25	1.3	3.3	1.0	5.3	3.35	3.7	26.5	0.18
10. julio	4 pm		1.25	3.3	1.0	5.8	3.9	3.6	27	
2 julio	8 am	2.0	1.7	3.6	1.0	6.7	4.2	3.5	27.5	0.18
2 julio	4 pm		1.45	4	1.0	6.85	5.2	3.5	28	
3 julio	8 am	4.25	1.8	4.6	1.1	8.3	6.2	3.5	28	0.4
3 julio	4 pm		1.2	5	1.0	8.5	9.7	3.5	28.5	
4 julio	8 am	4.0	1.3	5	1.0	8.7	9.8	3.5	29	0.7
4 julio	4 pm		1.2	4.5	1.0	8.9	4.5	3.5	29.5	
5 julio	8 am	5.5	1.3	4.5	1.0	8	2.9	3.5	29.5	0.24







TABLA 5 - Valores mínimos y máximos de tensión alcanzados en los dos tratamientos.

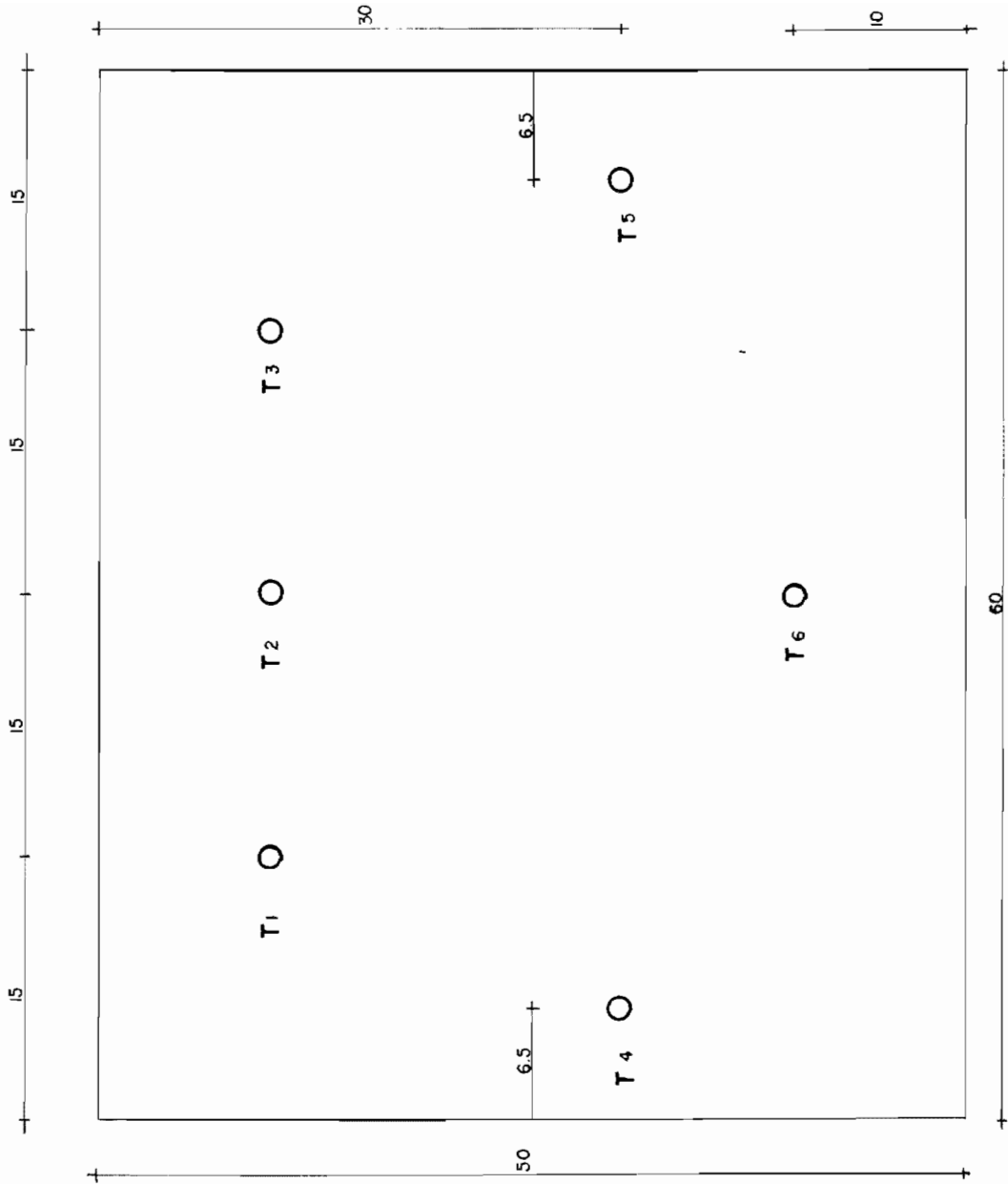
Tratamiento	Caja	Textura	Fluctuaciones de la Tensión Milb.					
			Tensiómetros					
			1	2	3	4	5	6
1	1	Franco arcilloso	20-97	30-139	16-103	16-33	13-141	33-82
	2	Arenoso	36-113	36-135	30-114	34.5-79.5	27- 77	37-54
2	3	Franco arcilloso	21-121	25-117	29-127	33-87.5	39-87.5	60-20
	4	arenoso	12-57	18.5-130	10.5-54.5	14-175	18-167	28-162

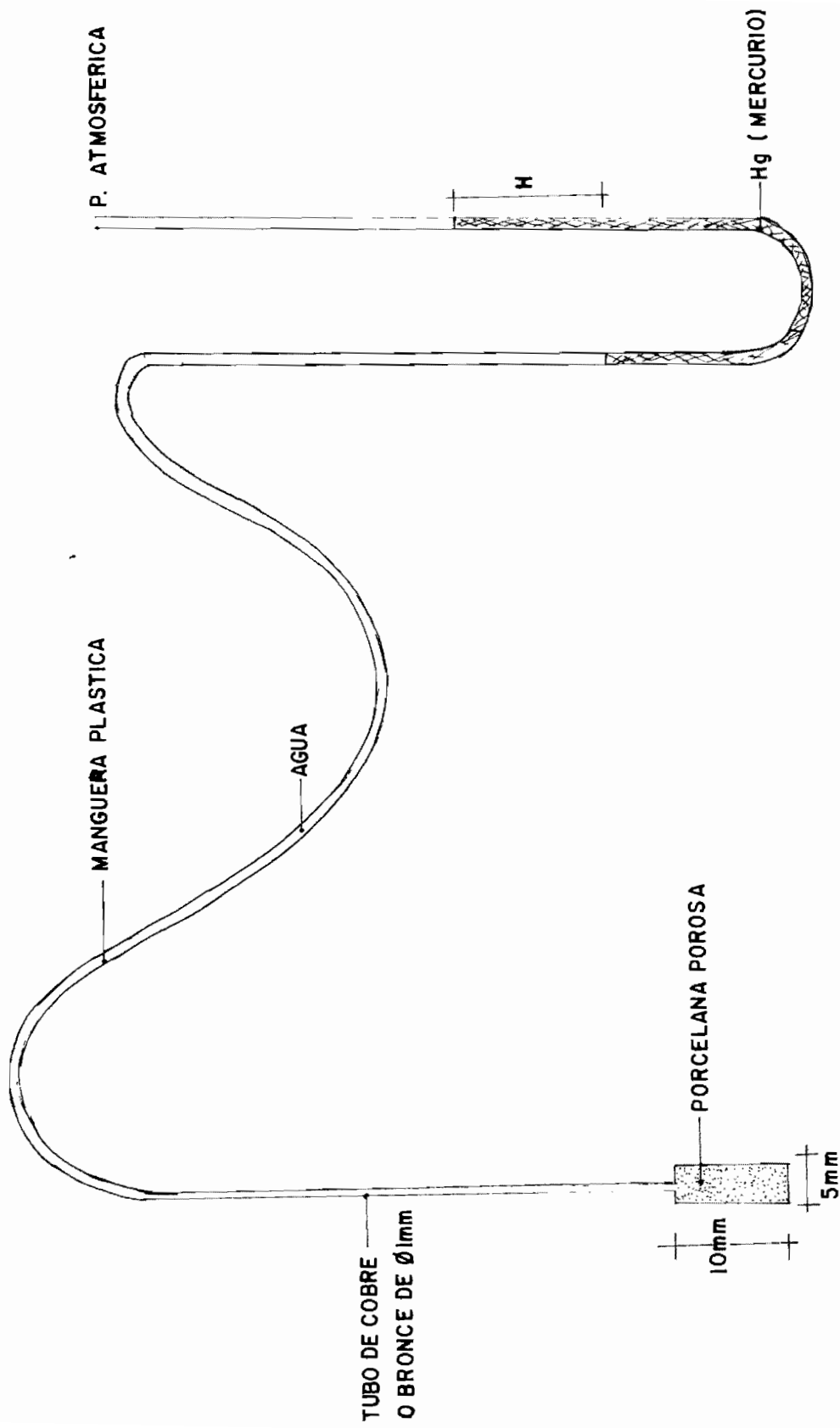
TABLA 6 - Factores de planta y consumo de agua.

Factor de planta	Tratamiento 1		Tratamiento 2	
	Franco arcilloso	Arenoso	Arenoso	Franco arcilloso
Número total de hojas	16	5	5	14
Altura planta (cms.)	25	17	22	26
Parte aérea (grs.)				
peso verde	157.23	2.79	6.39	240.12
peso seco	20.25	0.59	1.30	31.03
peso raíces verde	33.34	2.59	2.25	120.07
pesos seco	17.6	0.37	0.63	24.012
Volumen total de agua aplicado (litros)	25.17	20.12	21.1	20.3.2

**APENDICE DE FIGURAS**

FIG 1 UBICACION DE TENSIOMETROS EN LA CAJA DE SIEMBRA.



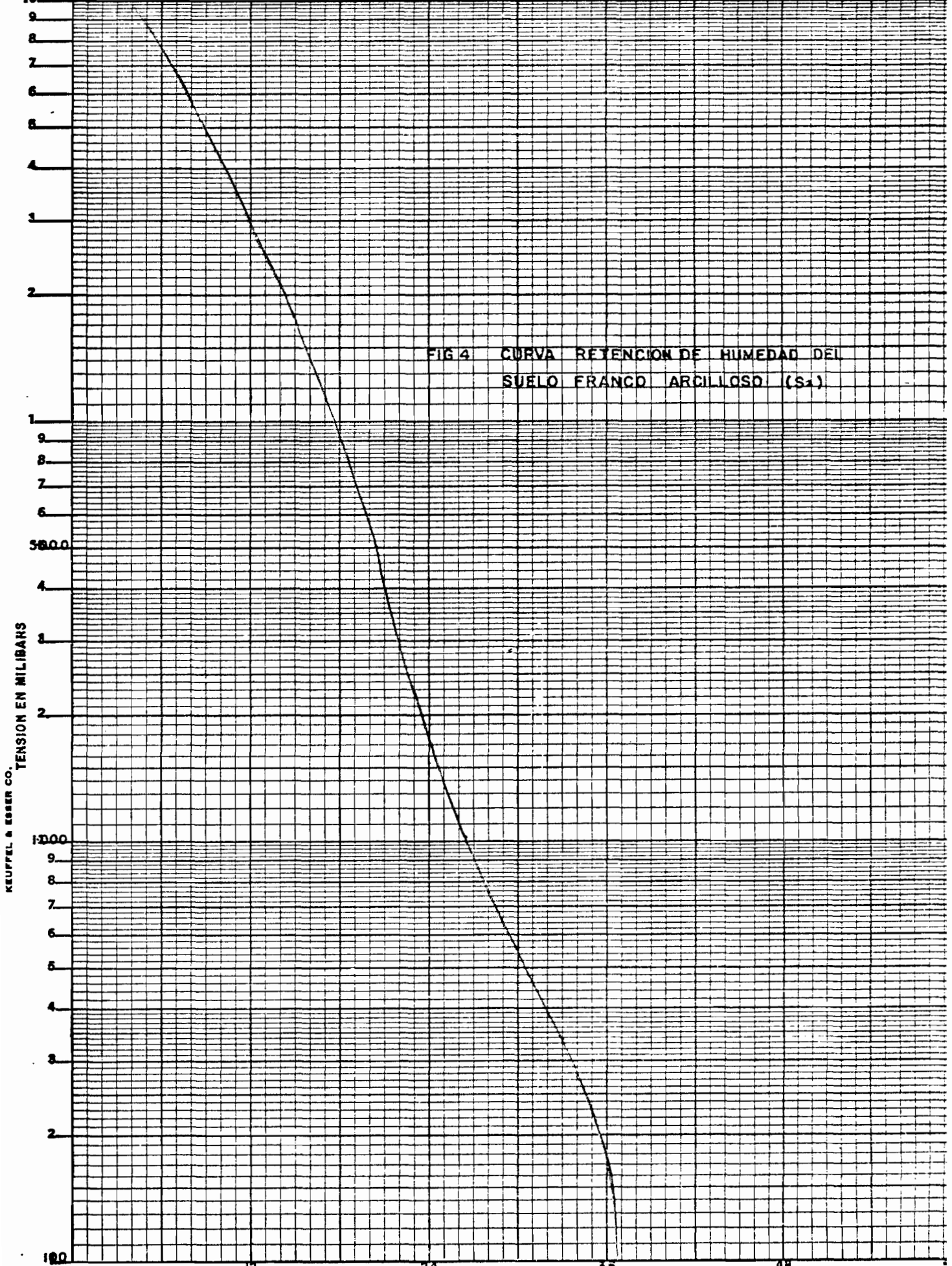


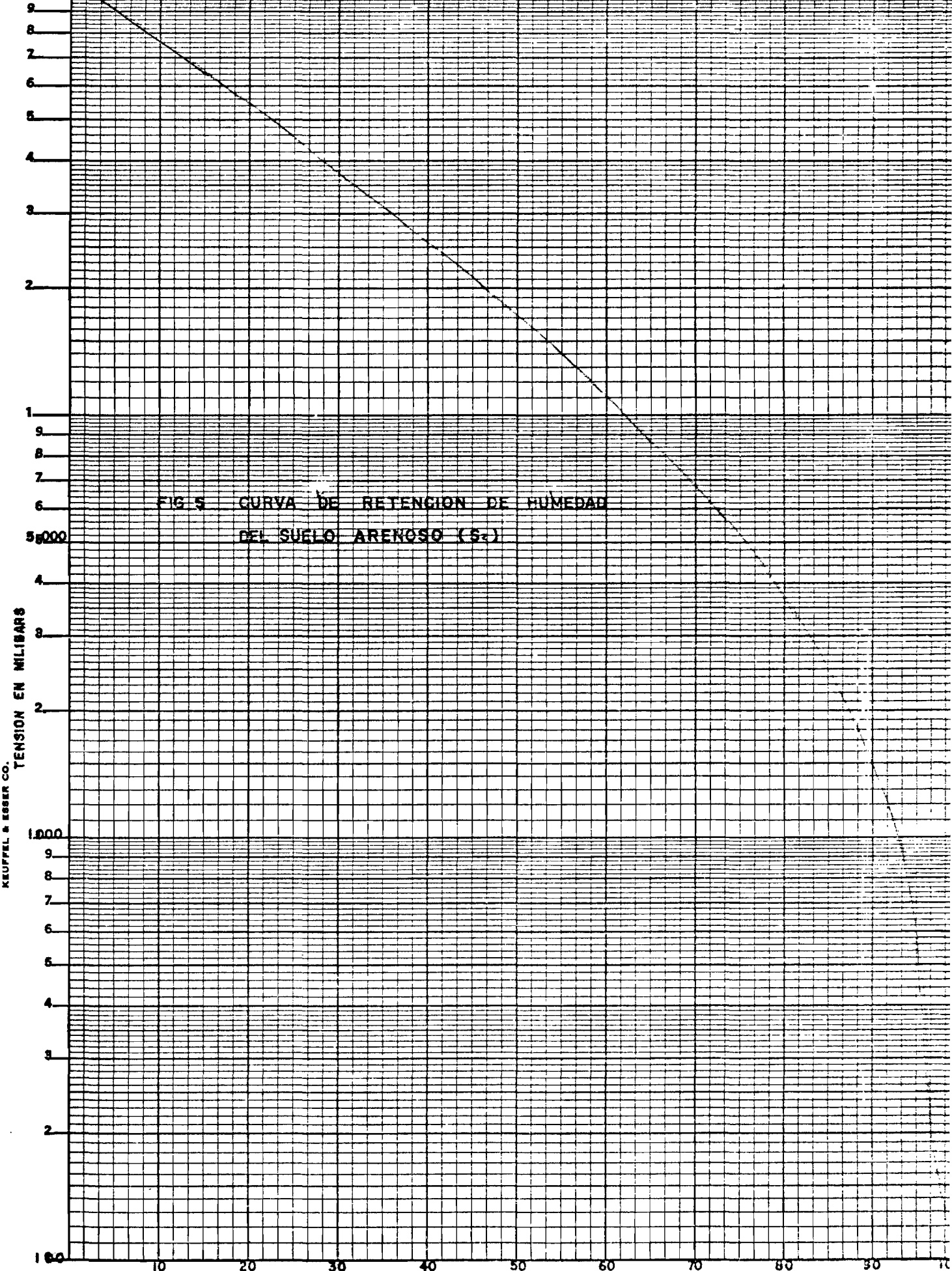
F2. DETALLE DEL TIPO DE TENSIONMETRO UTILIZADO



**FIG 3            DISPOSICION DEL EQUIPO UTILIZADO**



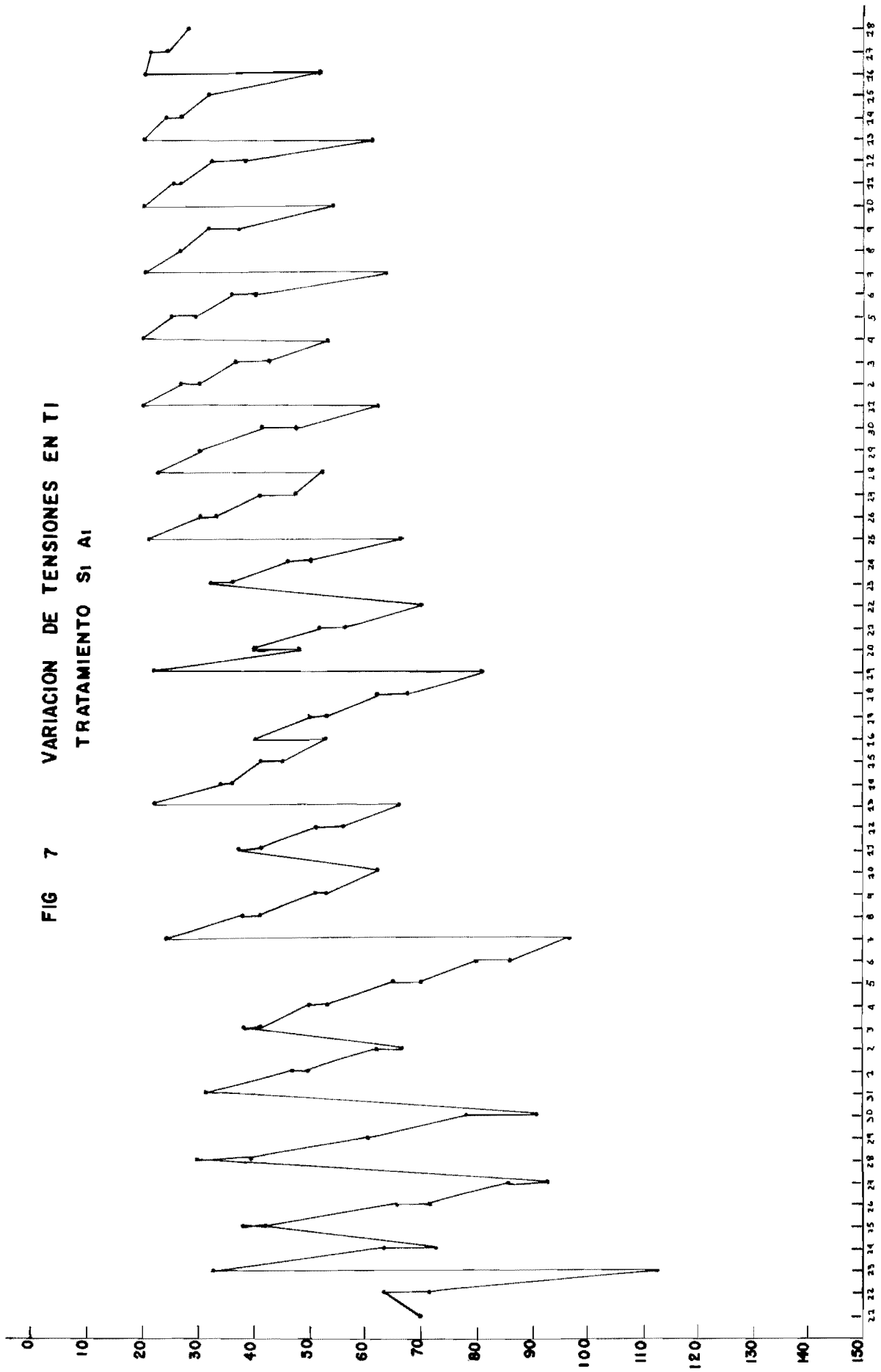






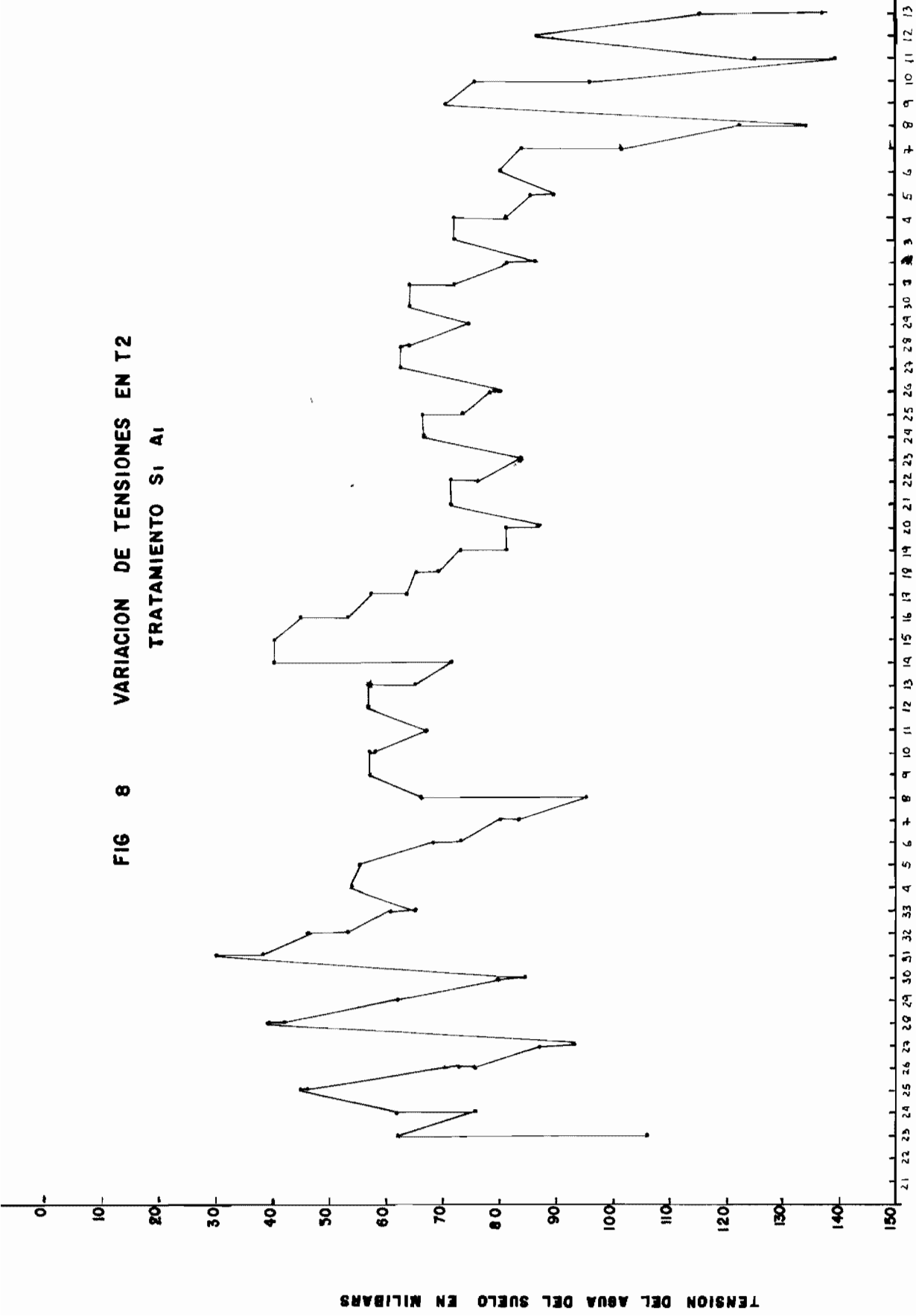
**FIG 6            DESARROLLO ALCANZADO POR LAS PLANTAS AL FINALIZAR  
EL EXPERIMENTO**

FIG 7 VARIACION DE TENSIONES EN TI  
TRATAMIENTO S1 A1



DIAS

**FIG 8 VARIACION DE TENSIONES EN T2  
TRATAMIENTO S1 A1**



**DIAS**

FIG 9 VARIACION DE TENSIONES EN T3  
TRATAMIENTO S1 A1

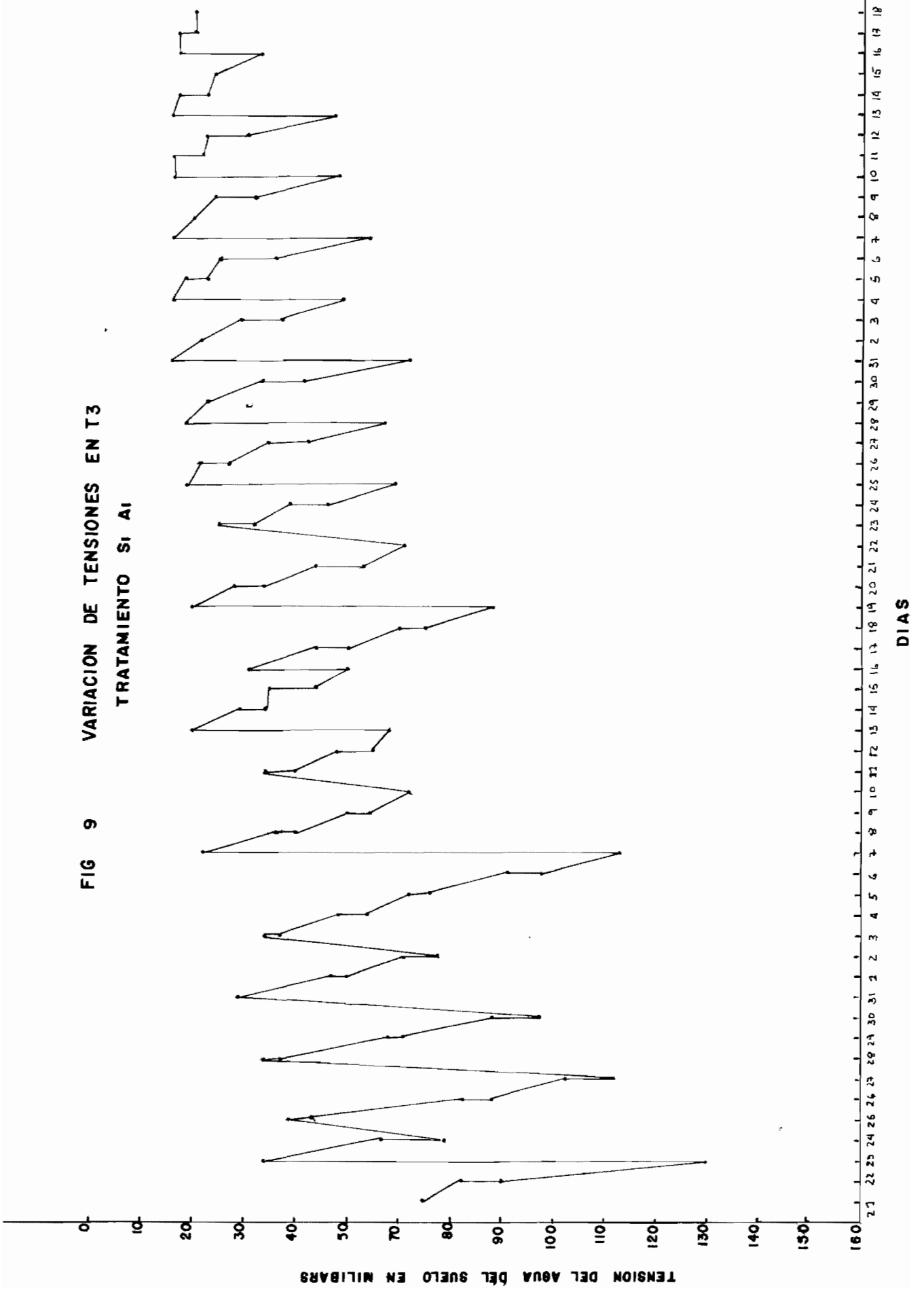


FIG 10 VARIACION DE TENSIONES EN T4  
TRATAMIENTO S1 A1

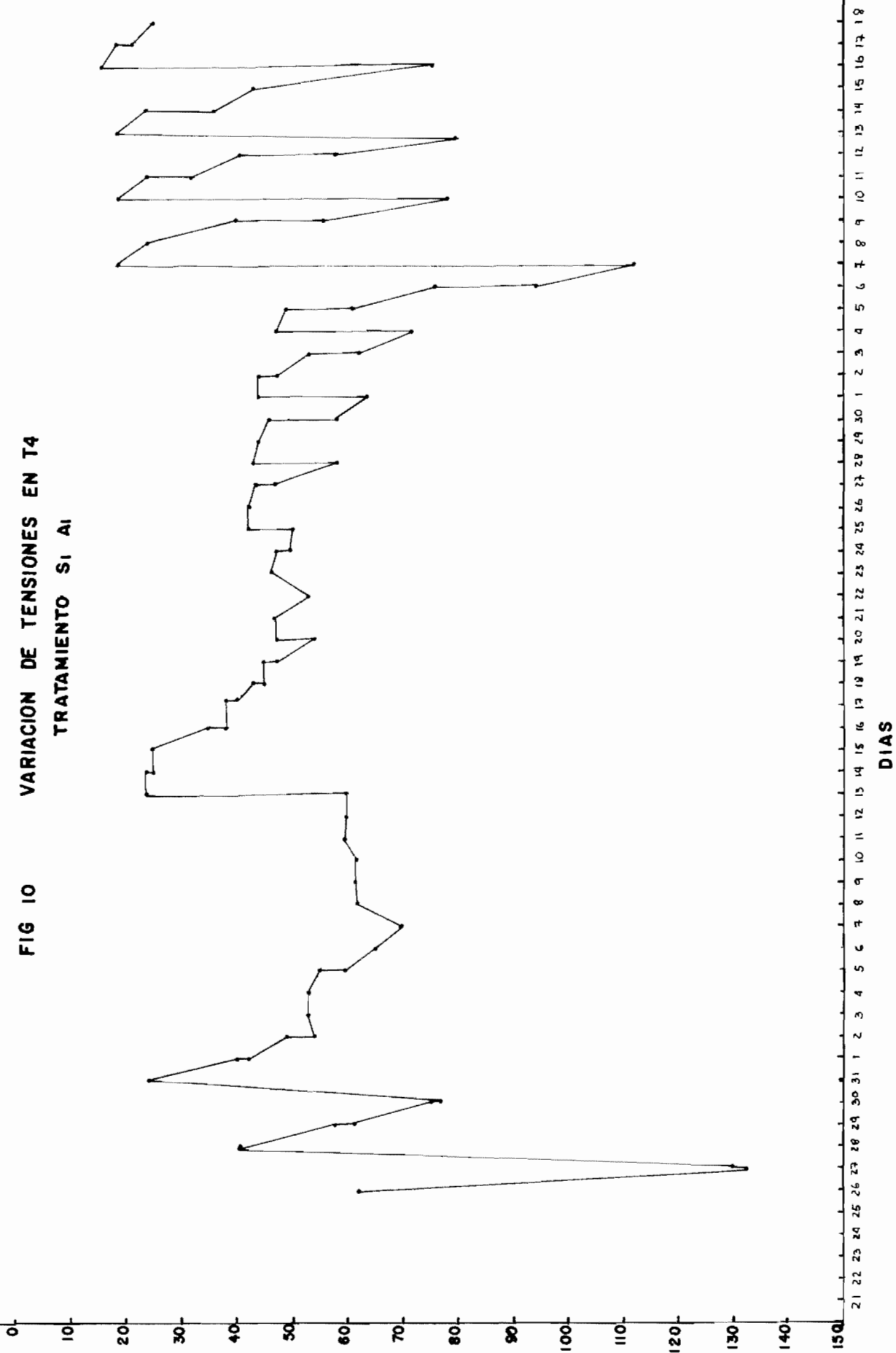


FIG 11 VARIACION DE TENSIONES EN T5  
TRATAMIENTO Si A1

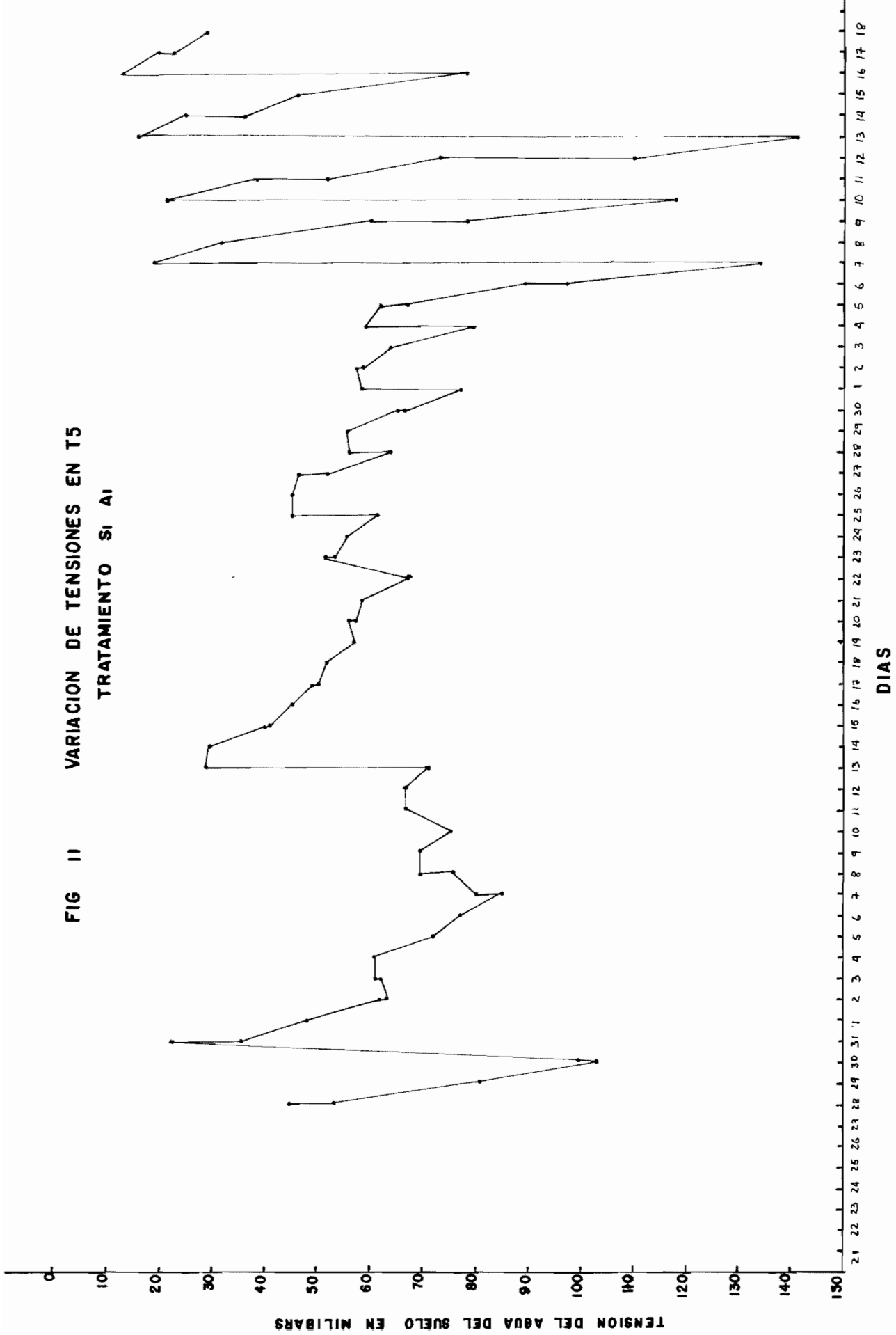




FIG 12 VARIACION DE TENSIONES EN T6  
TRATAMIENTO S<sub>i</sub> A<sub>1</sub>

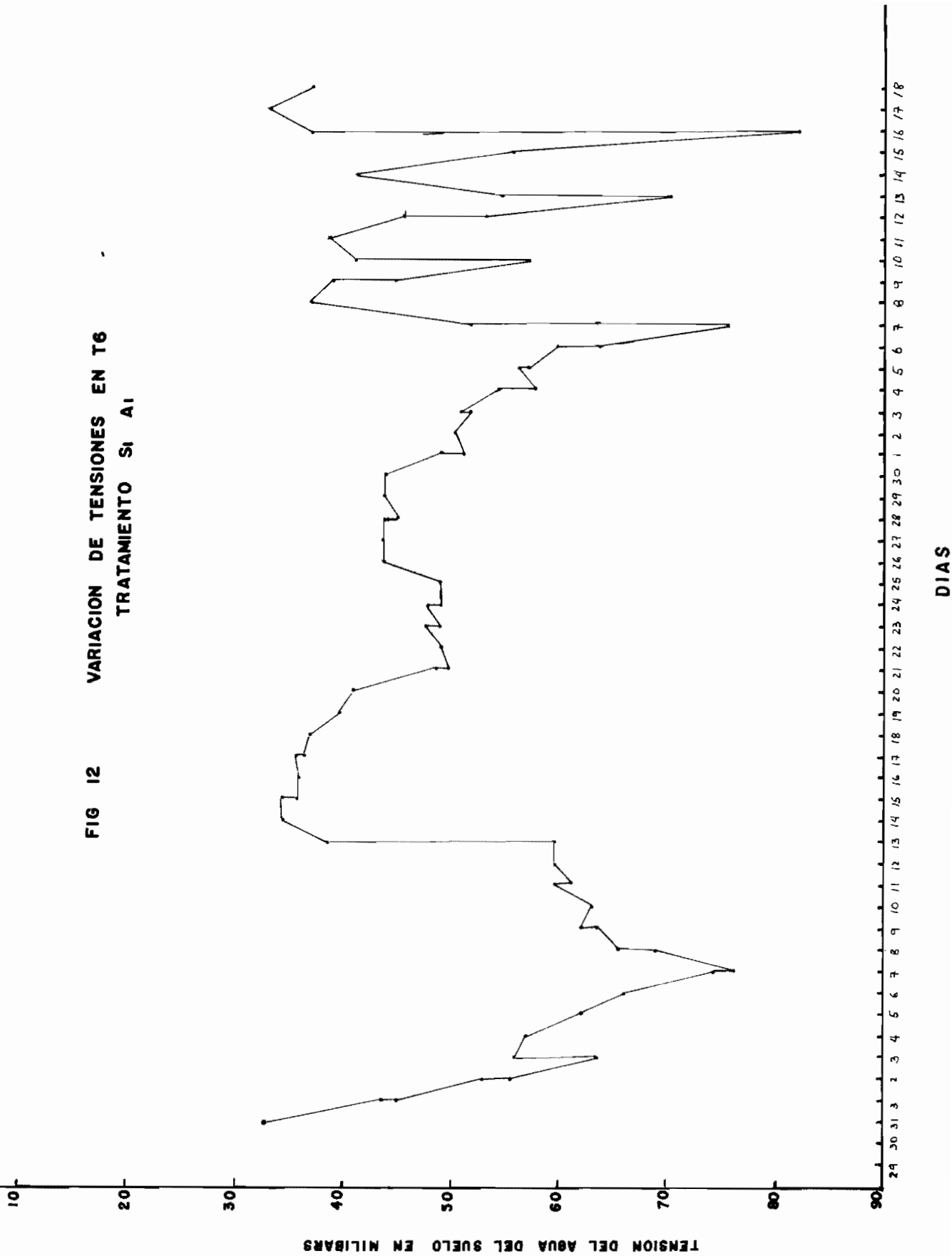
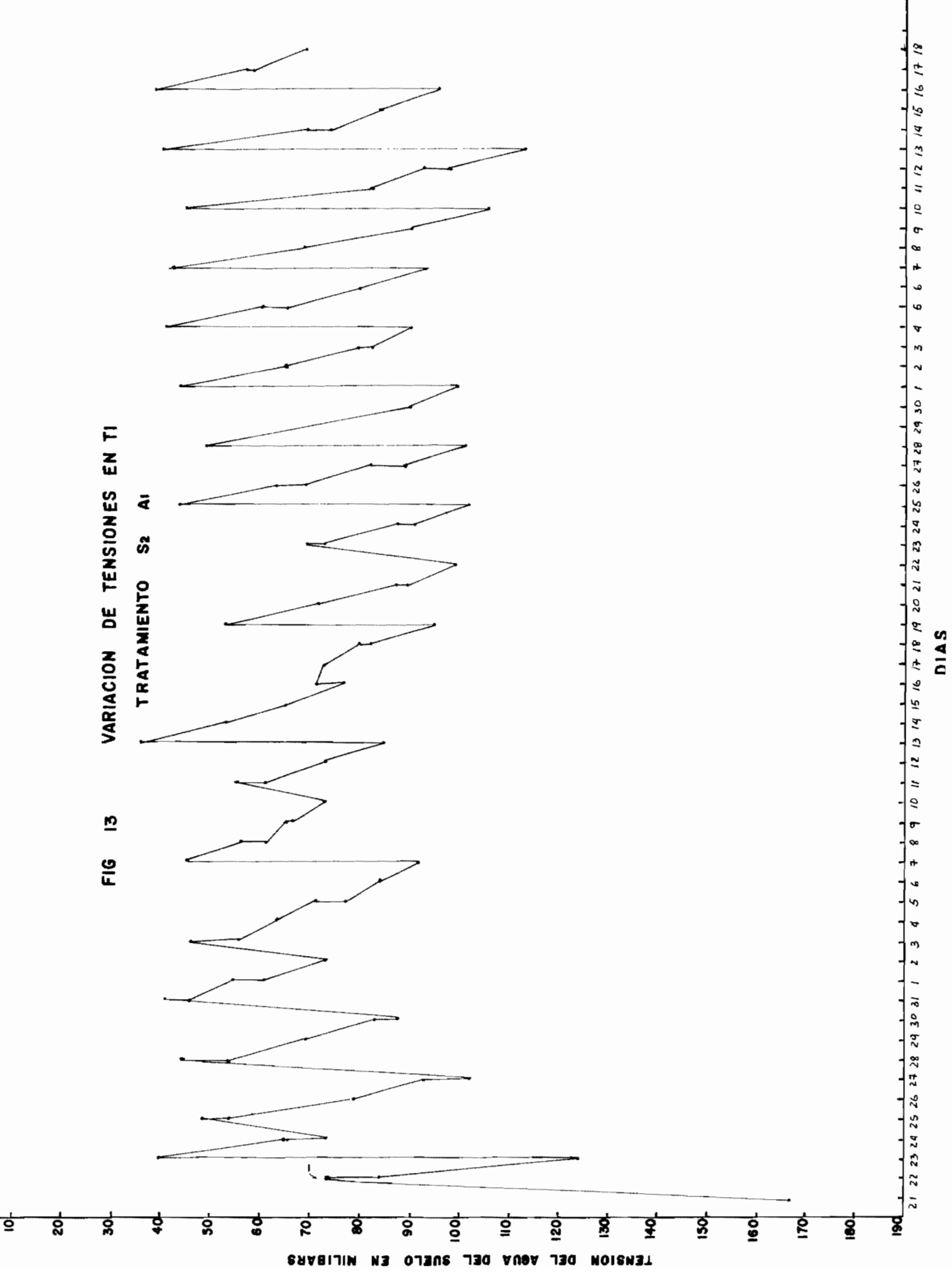
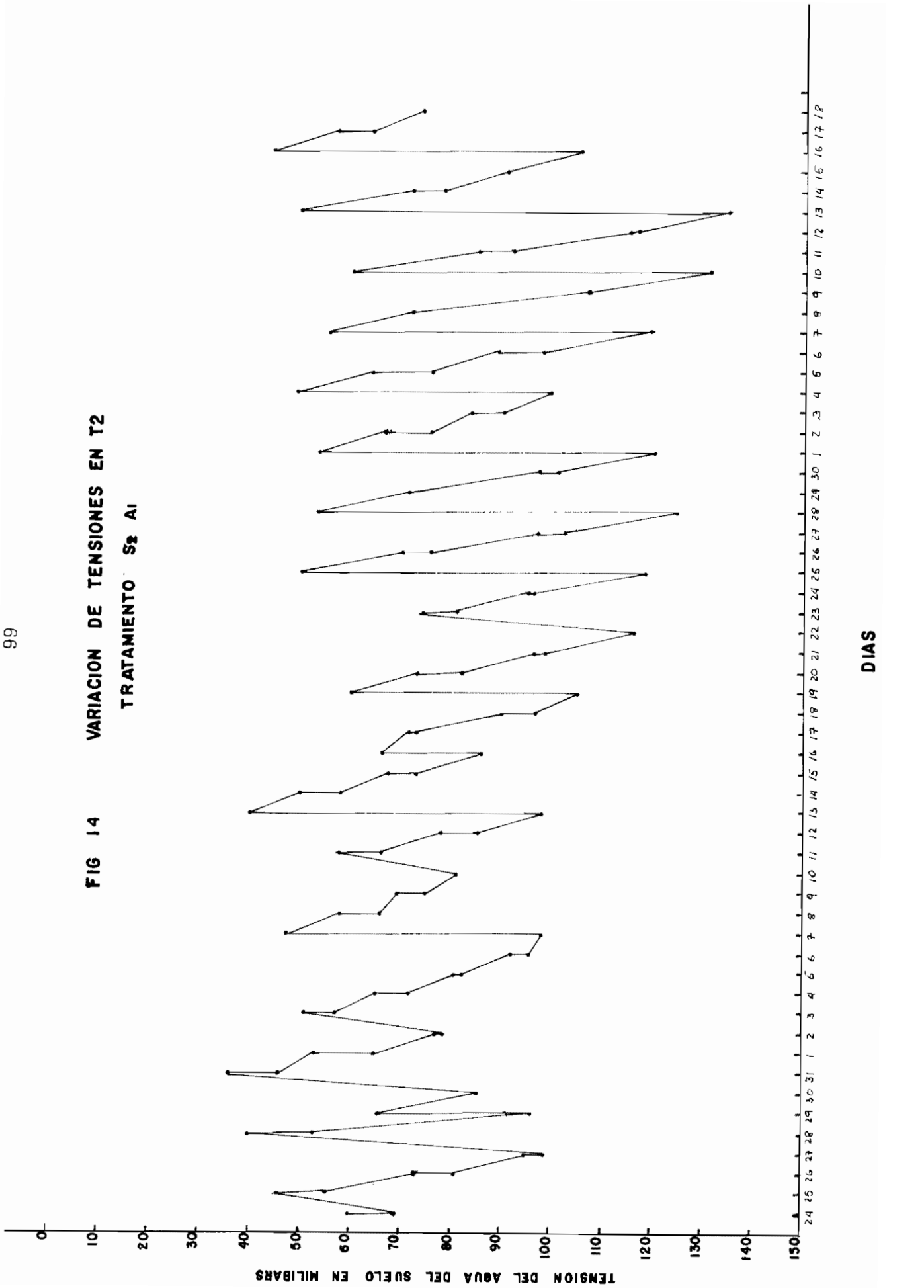


FIG 13 VARIACION DE TENSIONES EN T1

TRATAMIENTO S2 A1



**FIG 14 VARIACION DE TENSIONES EN T2  
TRATAMIENTO S2 A1**



**DIAS**

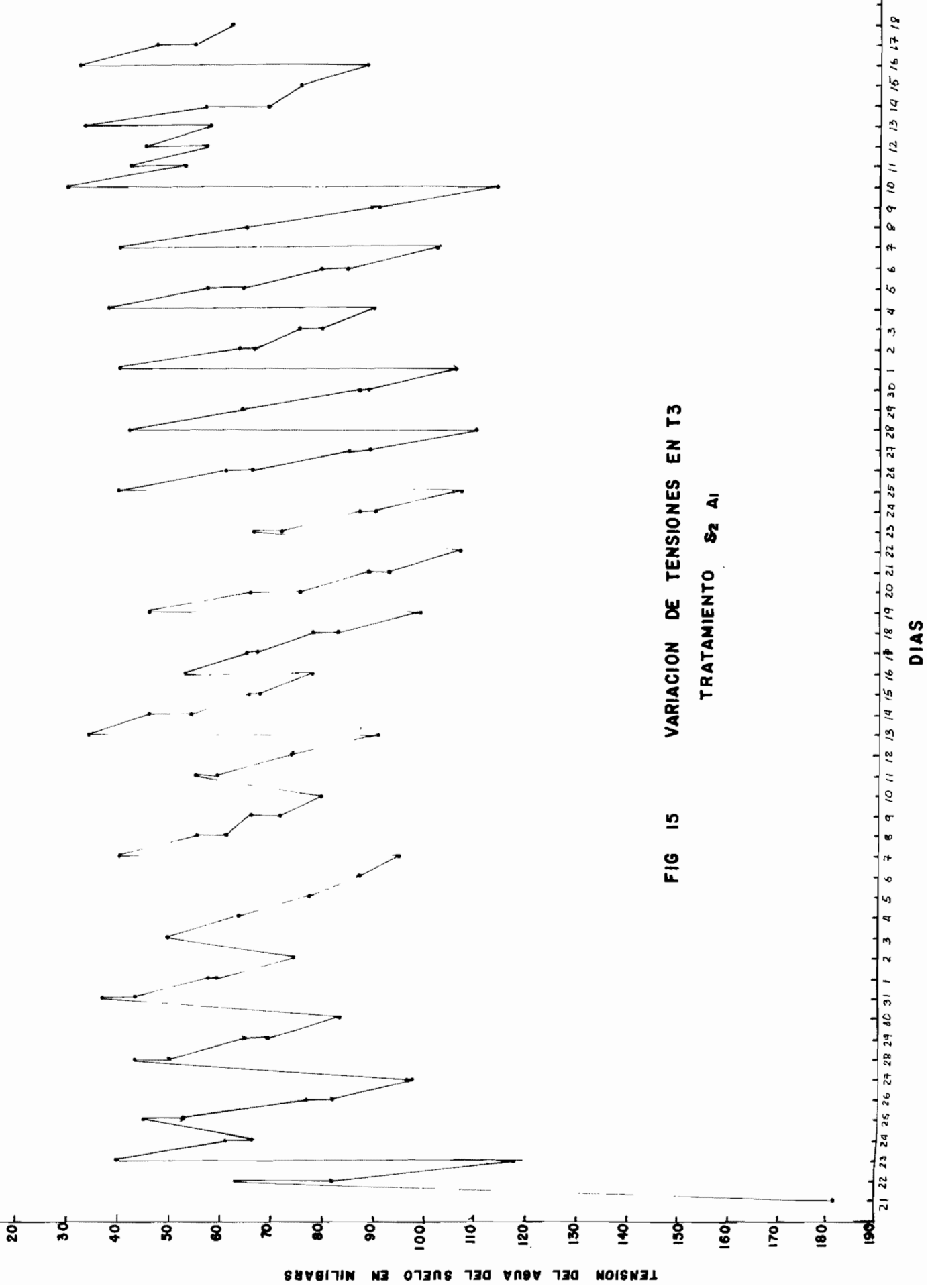


FIG 15 VARIACION DE TENSIONES EN T3  
TRATAMIENTO S2 A1

FIG 16 VARIACION DE TENSIONES EN T4  
TRATAMIENTO S2 A1

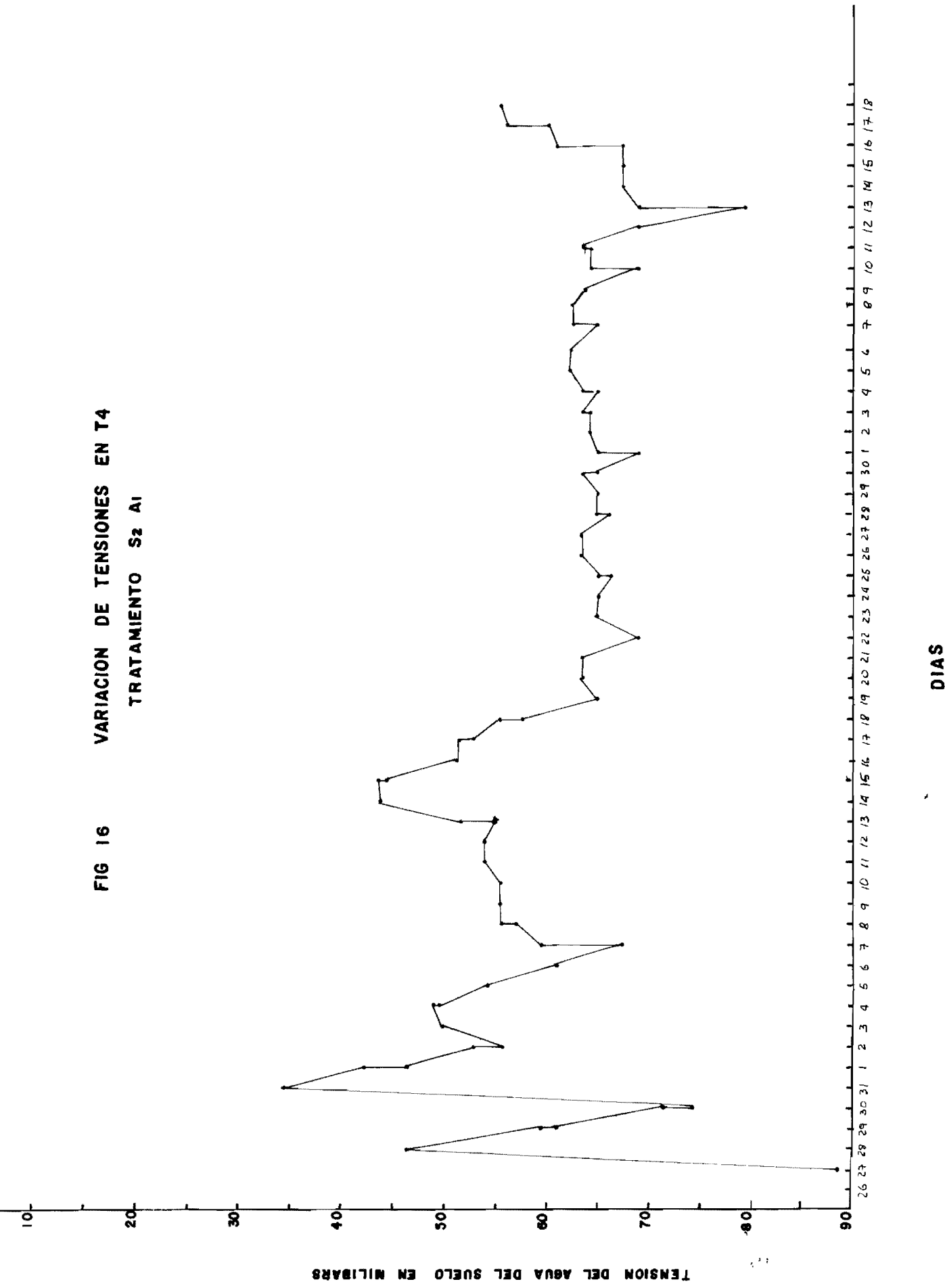


FIG 17 VARIACION DE TENSIONES EN T5  
TRATAMIENTO S2 A1

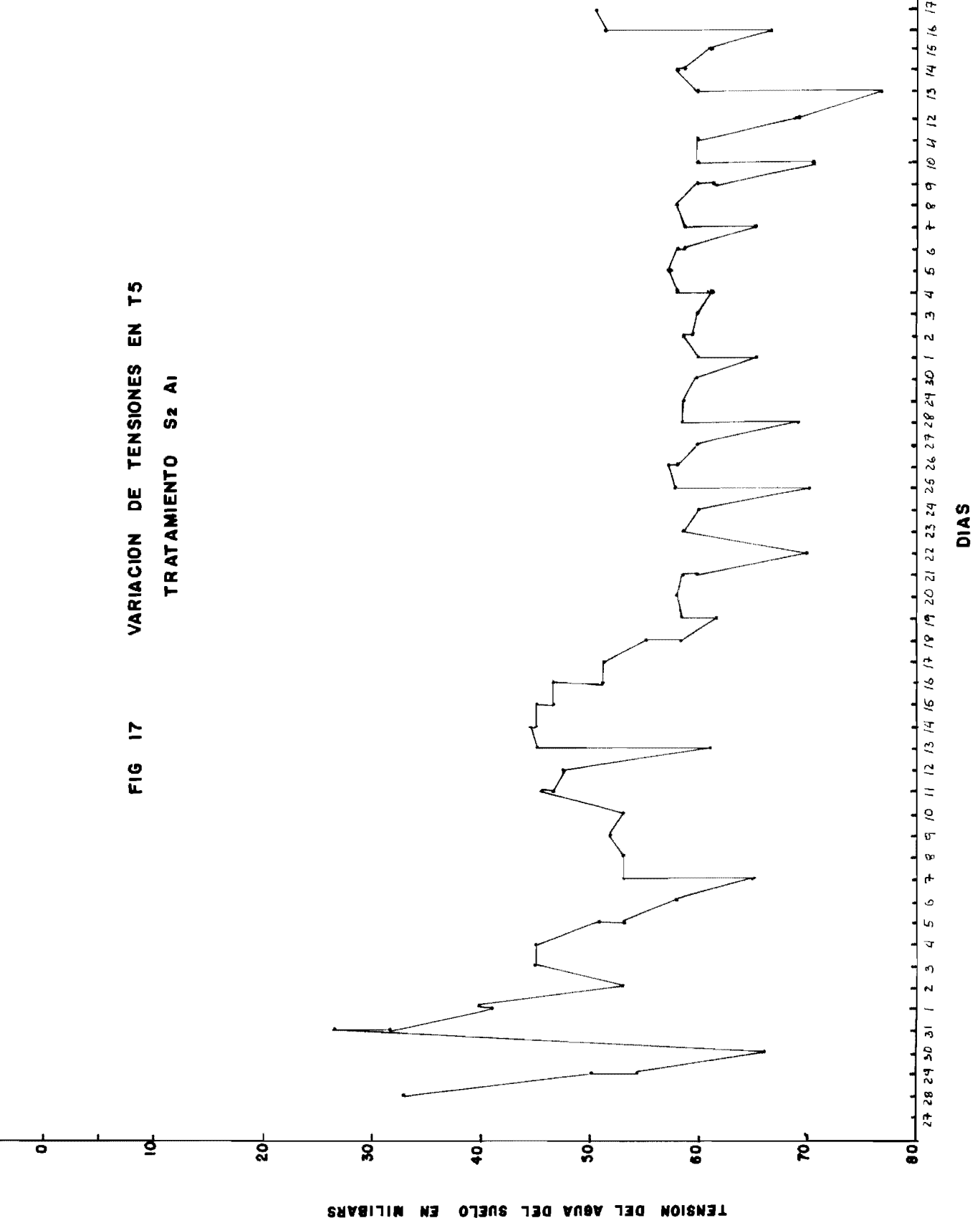


FIG 18 VARIACION DE TENSIONES EN T 6  
 TRATAMIENTO S<sub>2</sub> A1

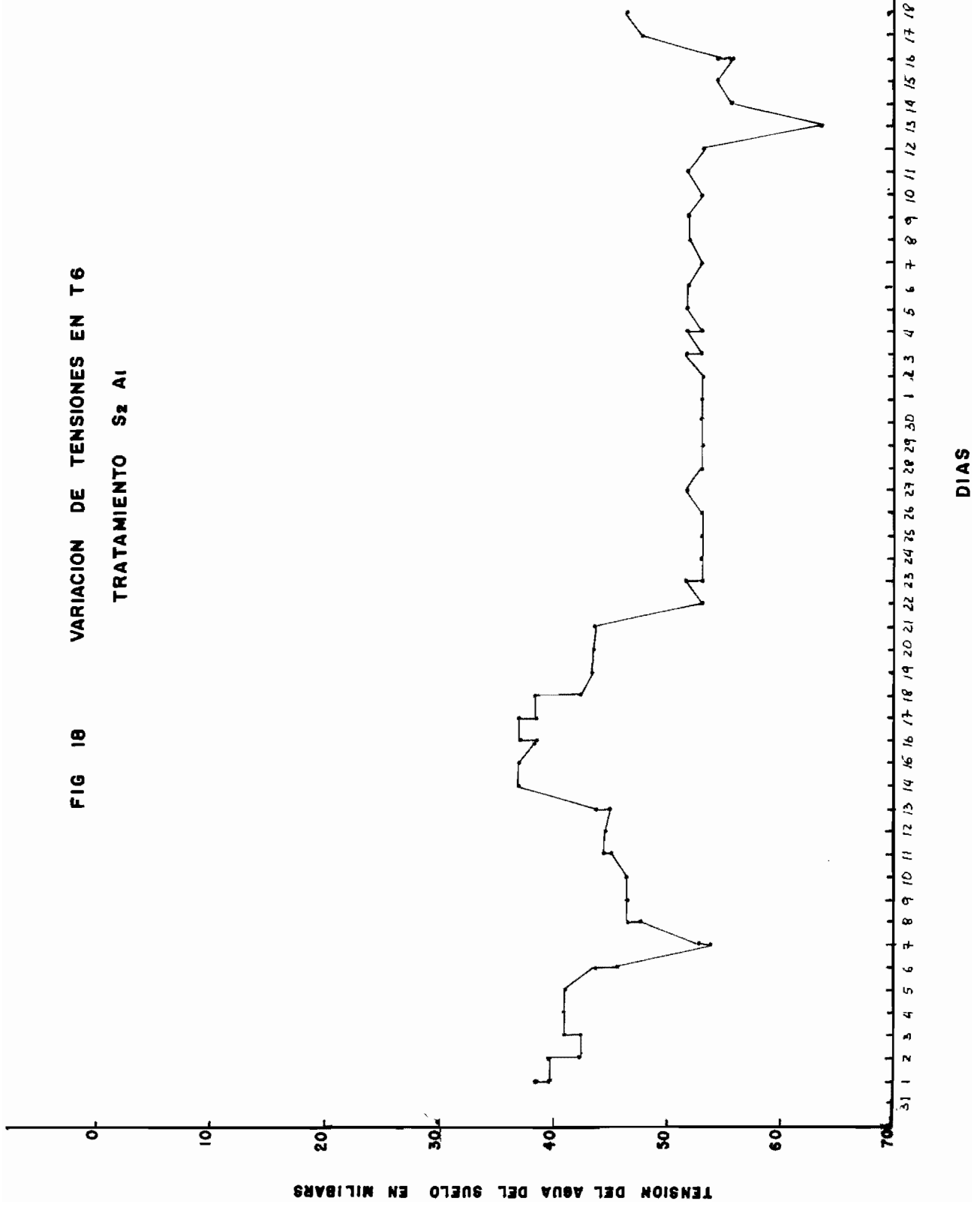
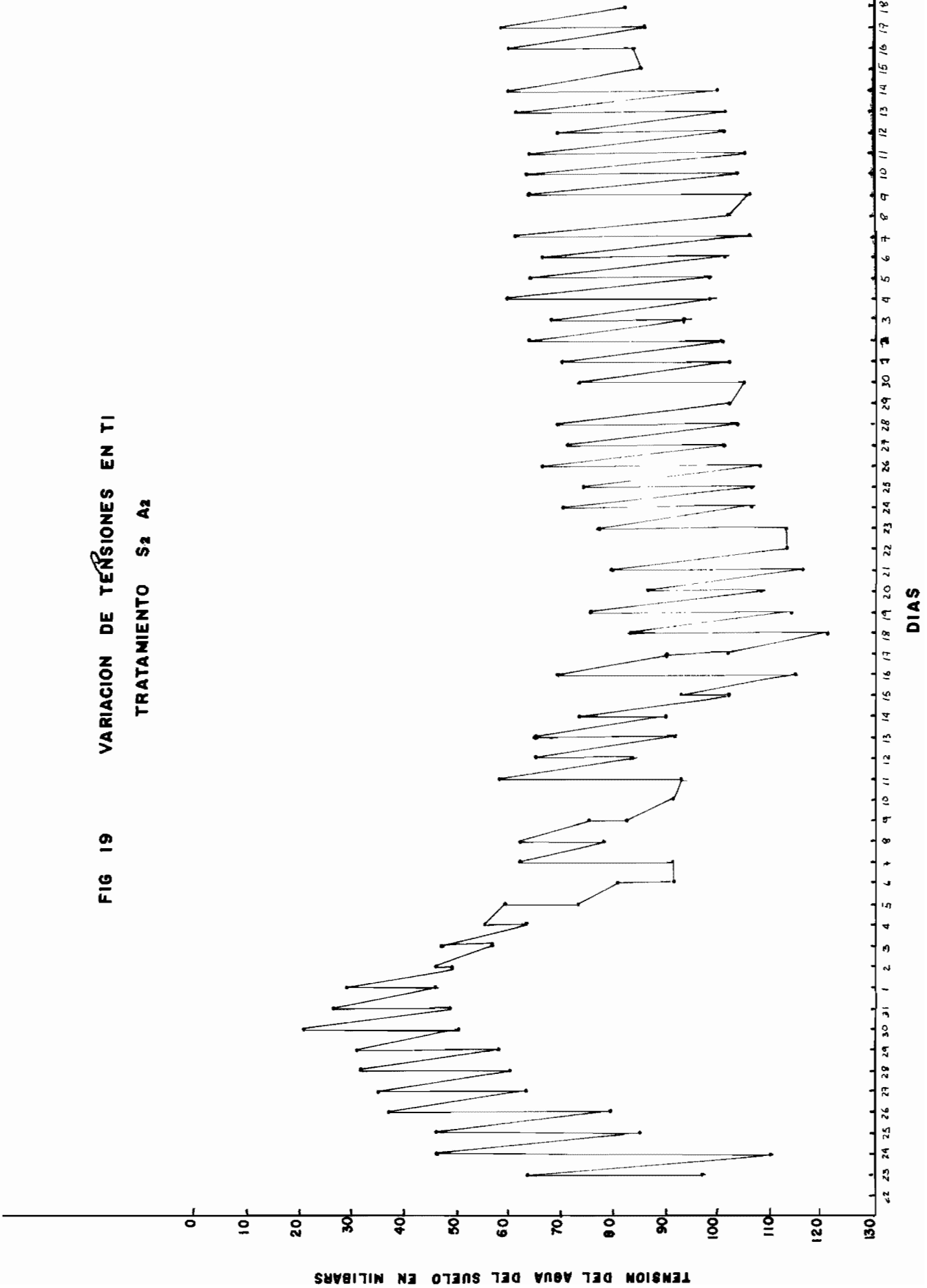


FIG 19 VARIACION DE TENSIONES EN T1  
 TRATAMIENTO S<sub>2</sub> A<sub>2</sub>

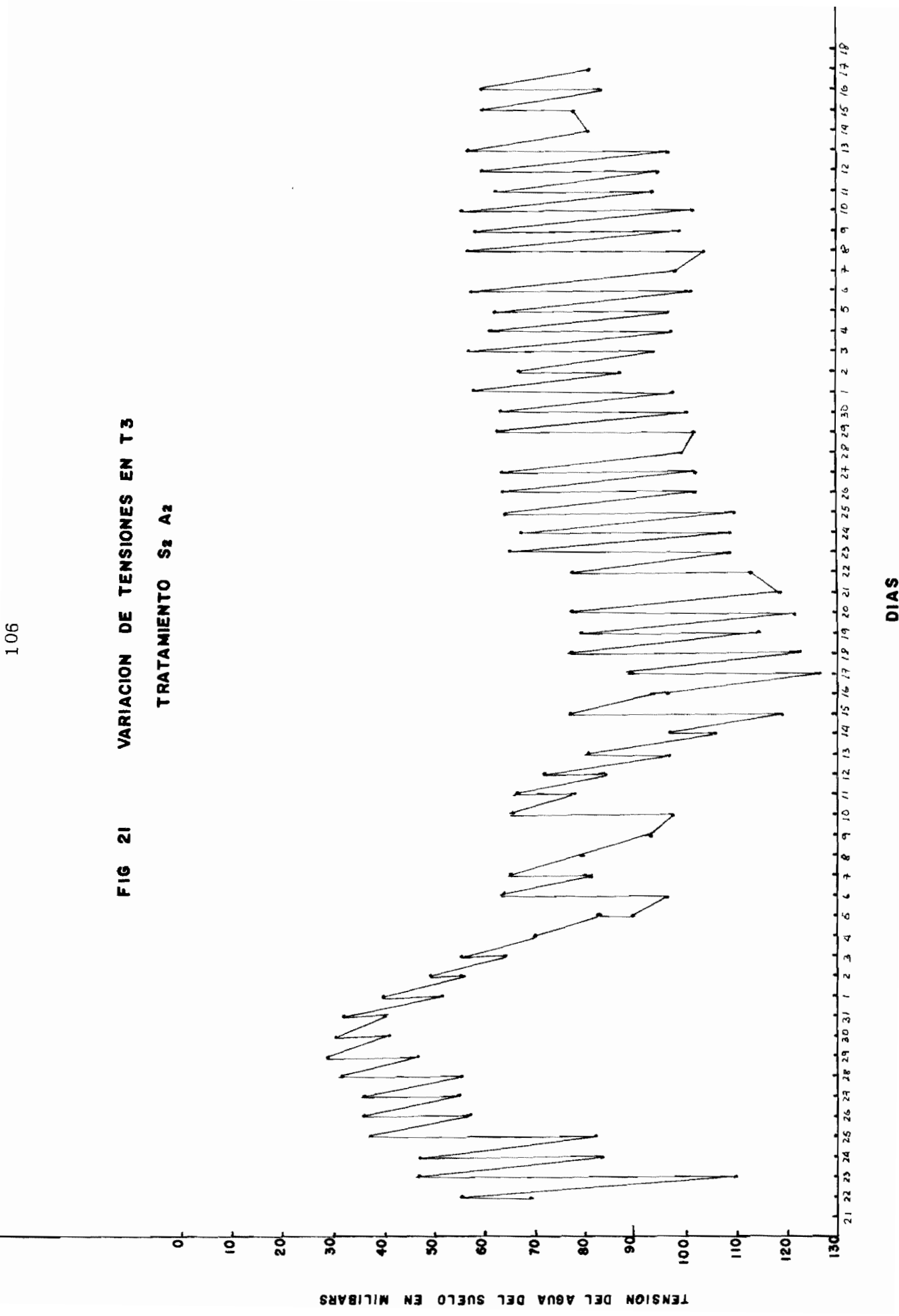




**FIG 20 VARIACION DE TENSIONES EN T2  
TRATAMIENTO S2 A2**



FIG 21 VARIACION DE TENSIONES EN T3  
TRATAMIENTO S2 A2



DIAS

**FIG 22 VARIACION DE TENSIONES EN T4  
TRATAMIENTO S2 A2**

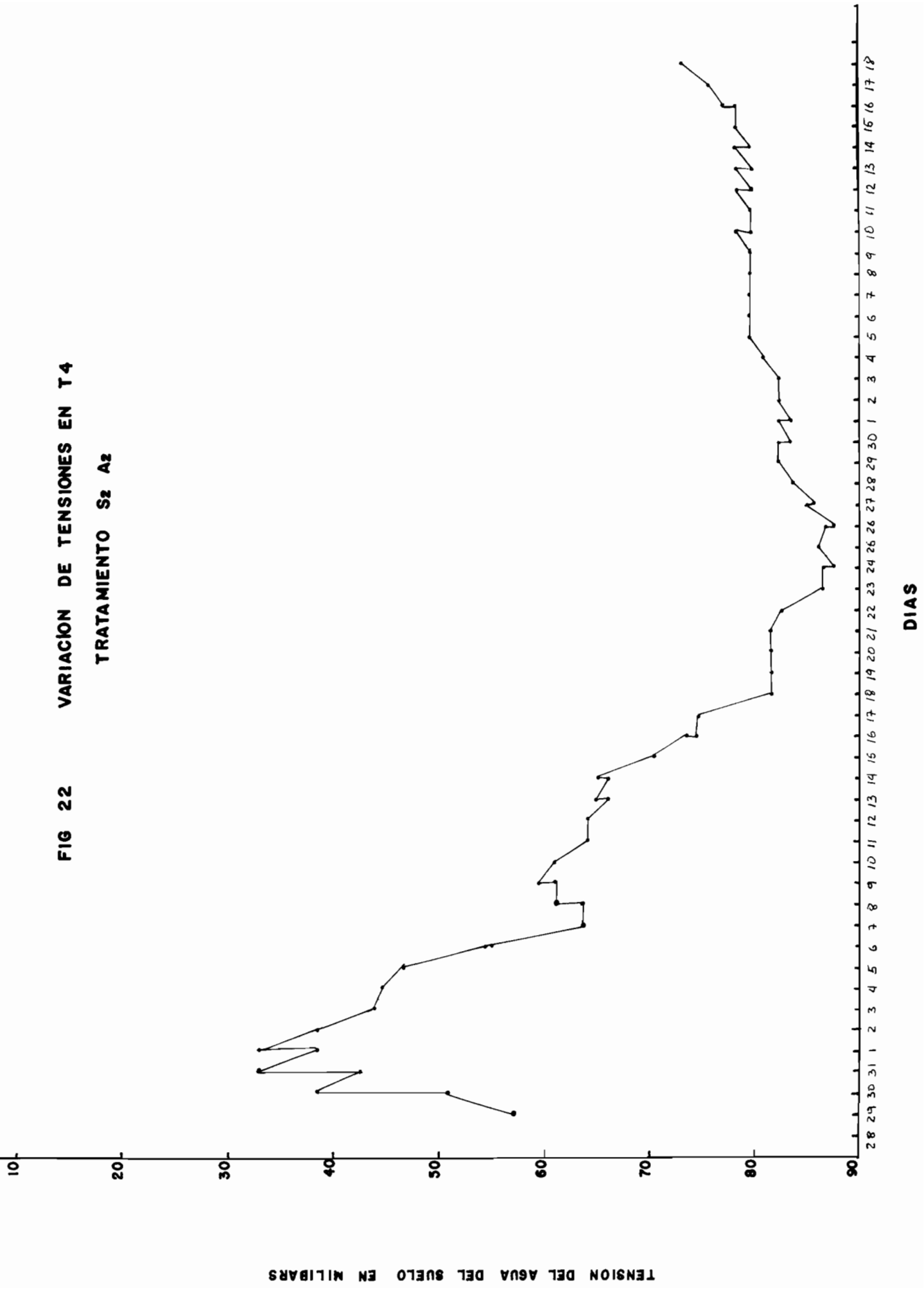
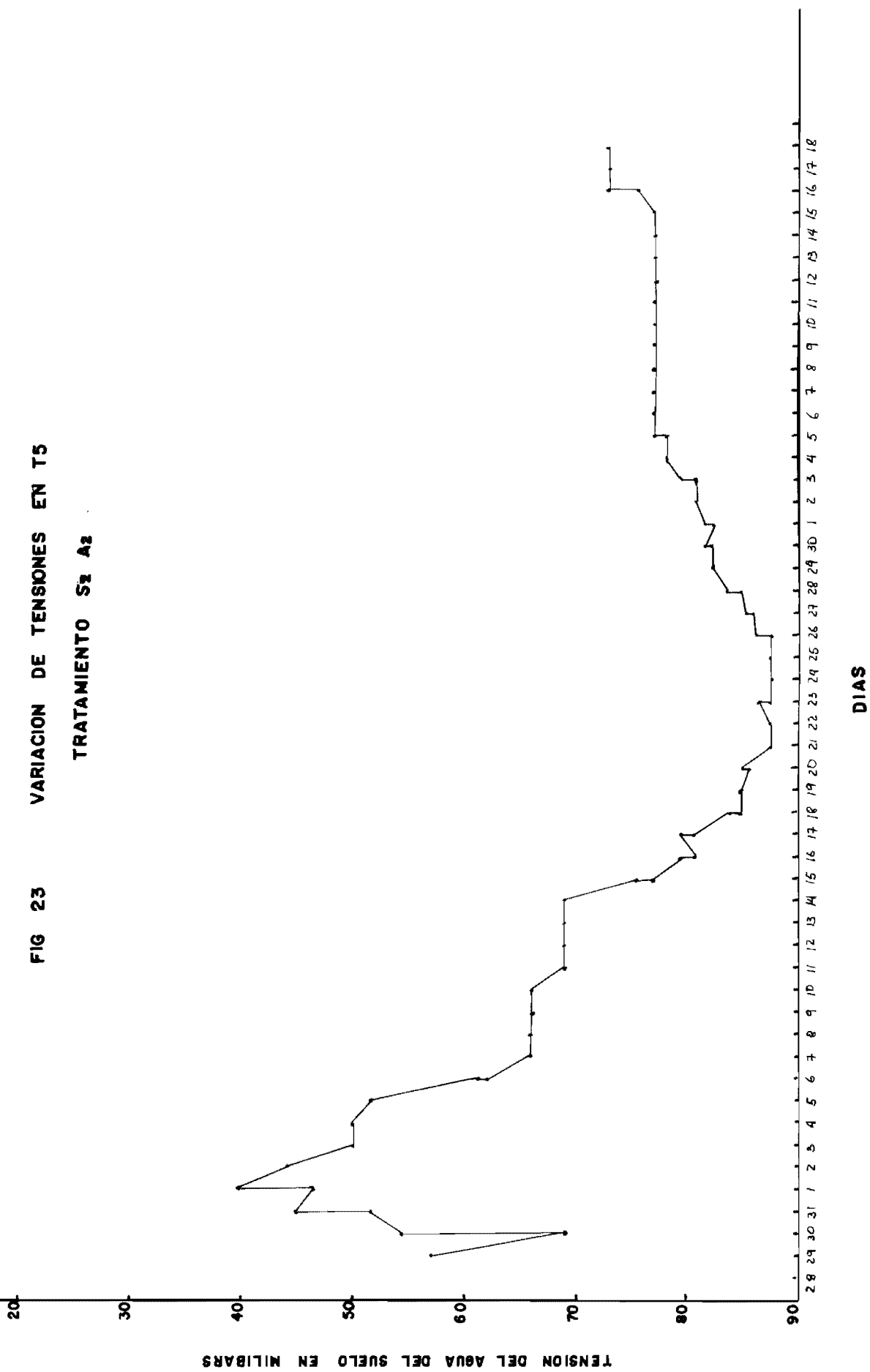
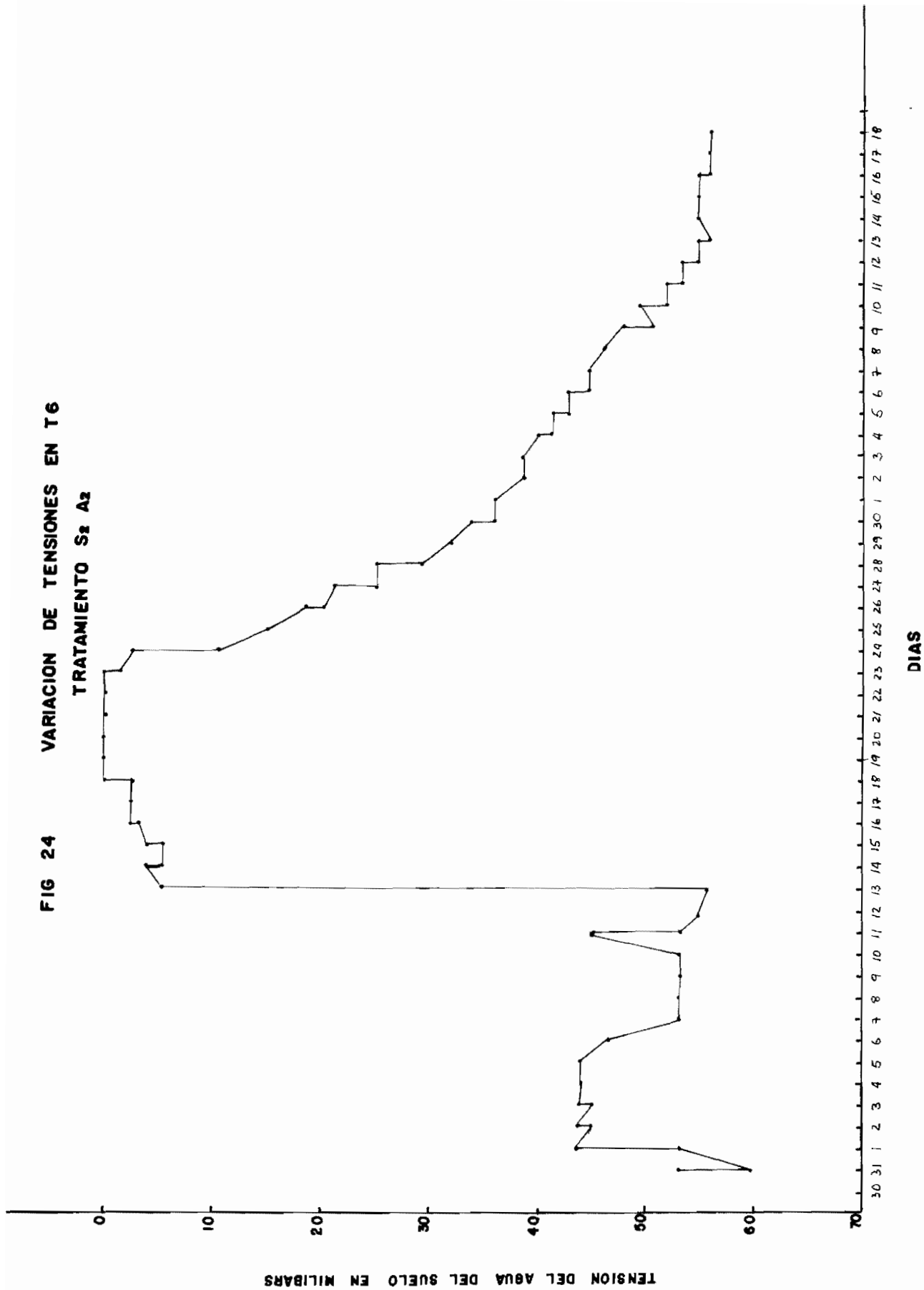


FIG 23 VARIACION DE TENSIONES EN T5  
TRATAMIENTO S<sub>2</sub> A<sub>2</sub>



**FIG 24** VARIACION DE TENSIONES EN T6  
TRATAMIENTO S2 A2



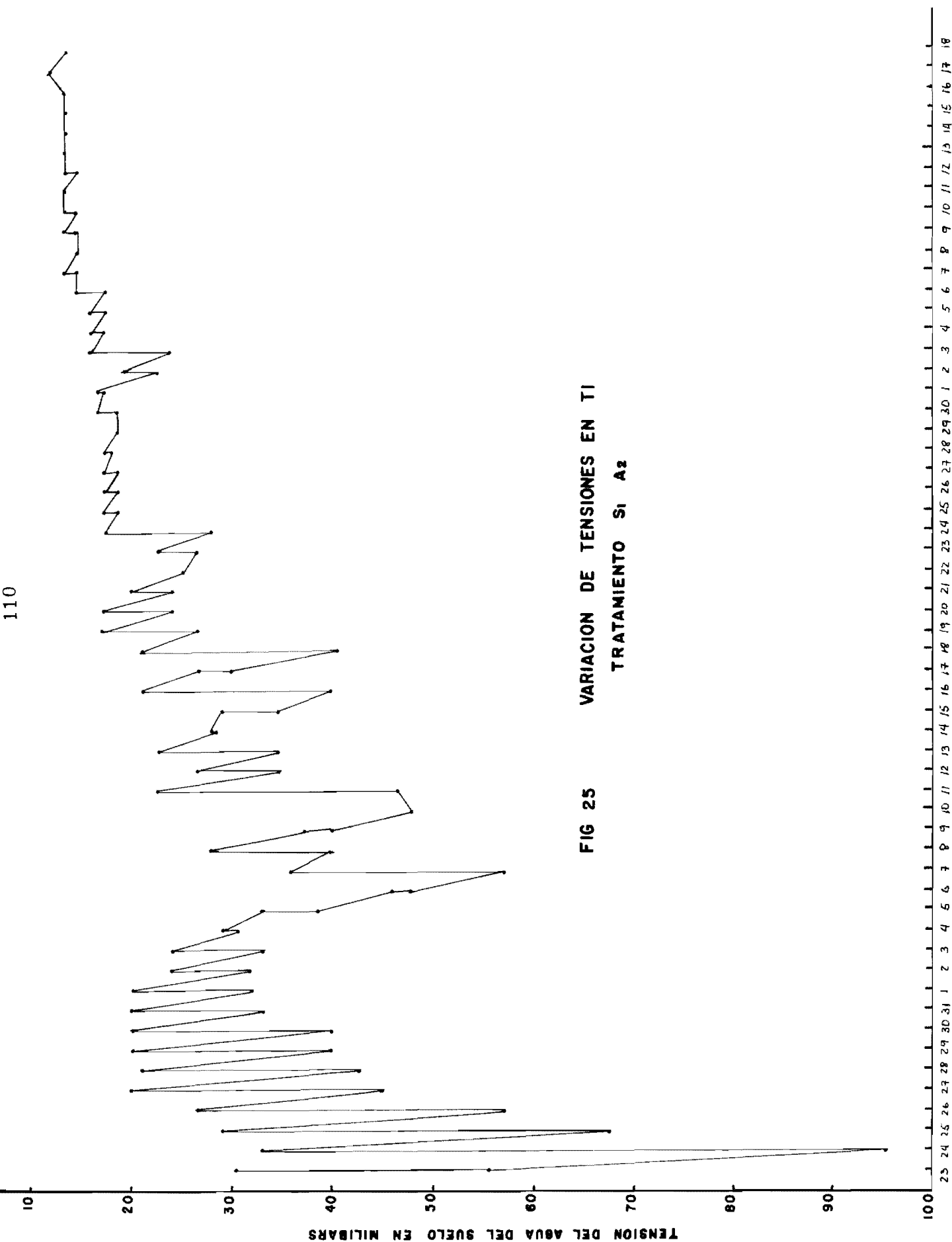


FIG 25 VARIACION DE TENSIONES EN T1  
TRATAMIENTO S1 A2

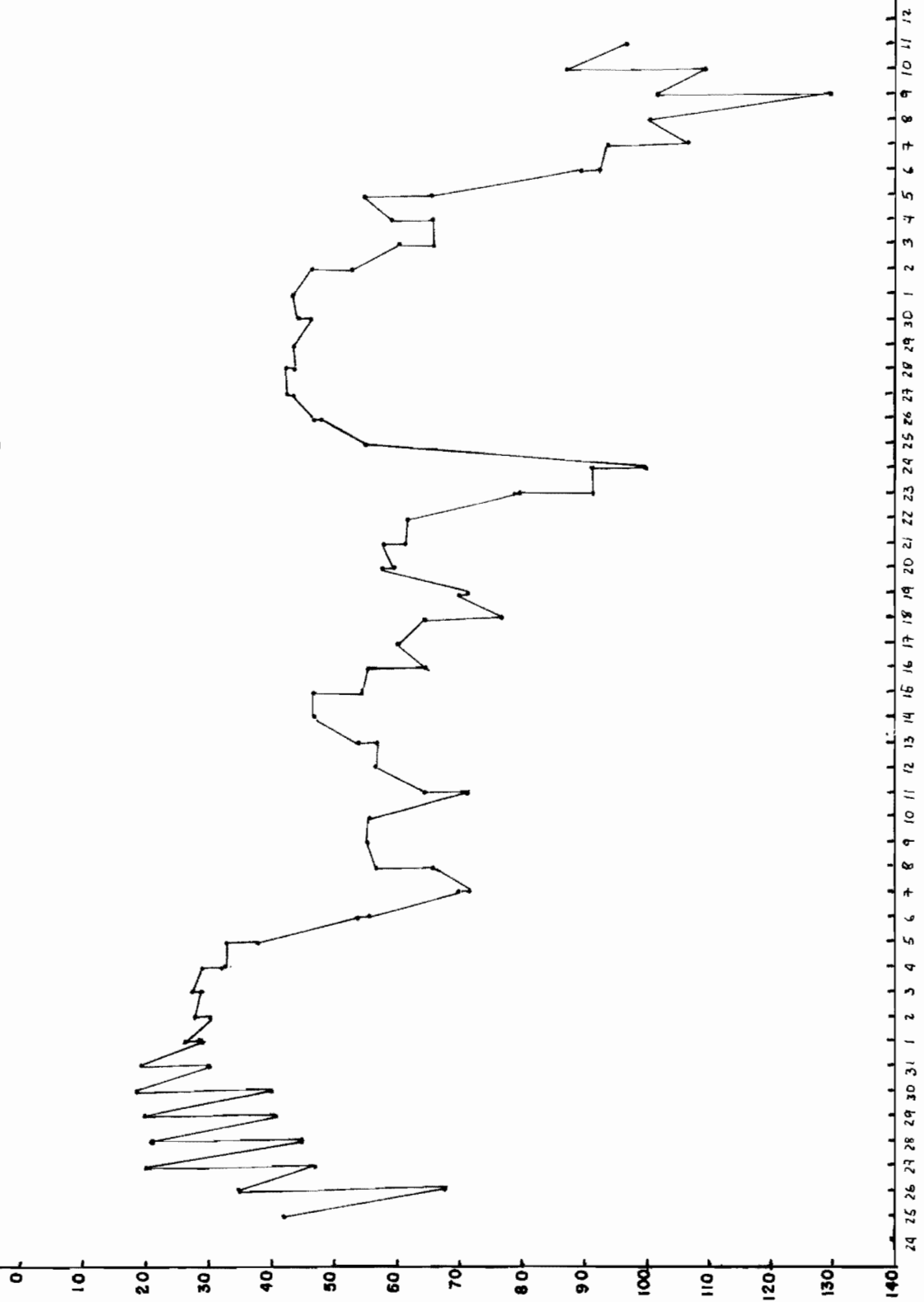
TENSION DEL AGUA DEL SUELO EN MILIBARS

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10

25 24 25 26 27 28 29 30 31 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 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

FIG 26 VARIACION DE TENSIONES EN T2

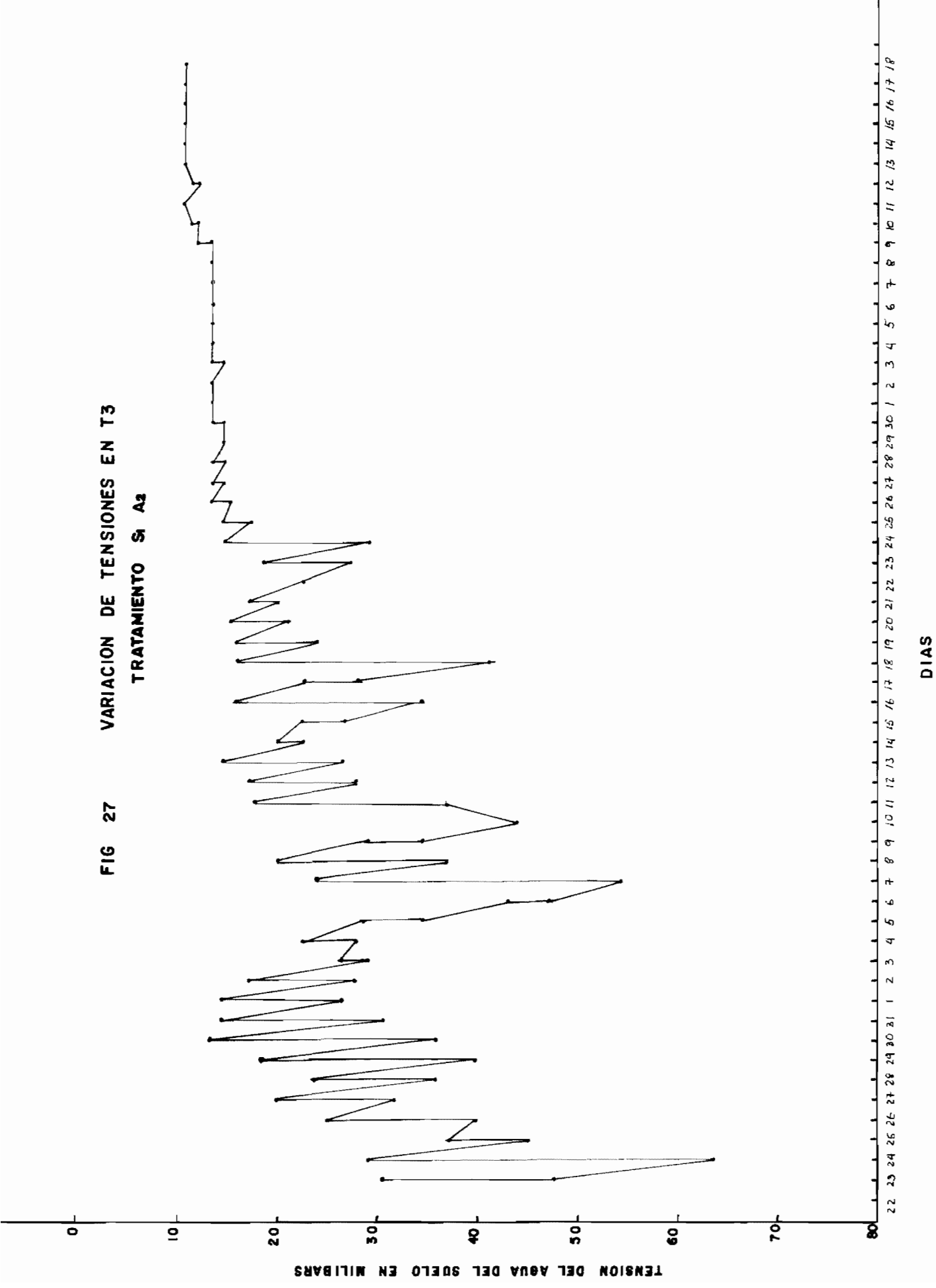
TRAMIENTO S1 A2



DIAS

TENSION DEL AGUA DEL SUELO EN MILIBARS

FIG 27 VARIACION DE TENSIONES EN T3  
TRATAMIENTO S1 A2





TENSION DEL AGUA DEL SUELO EN MILIBARS

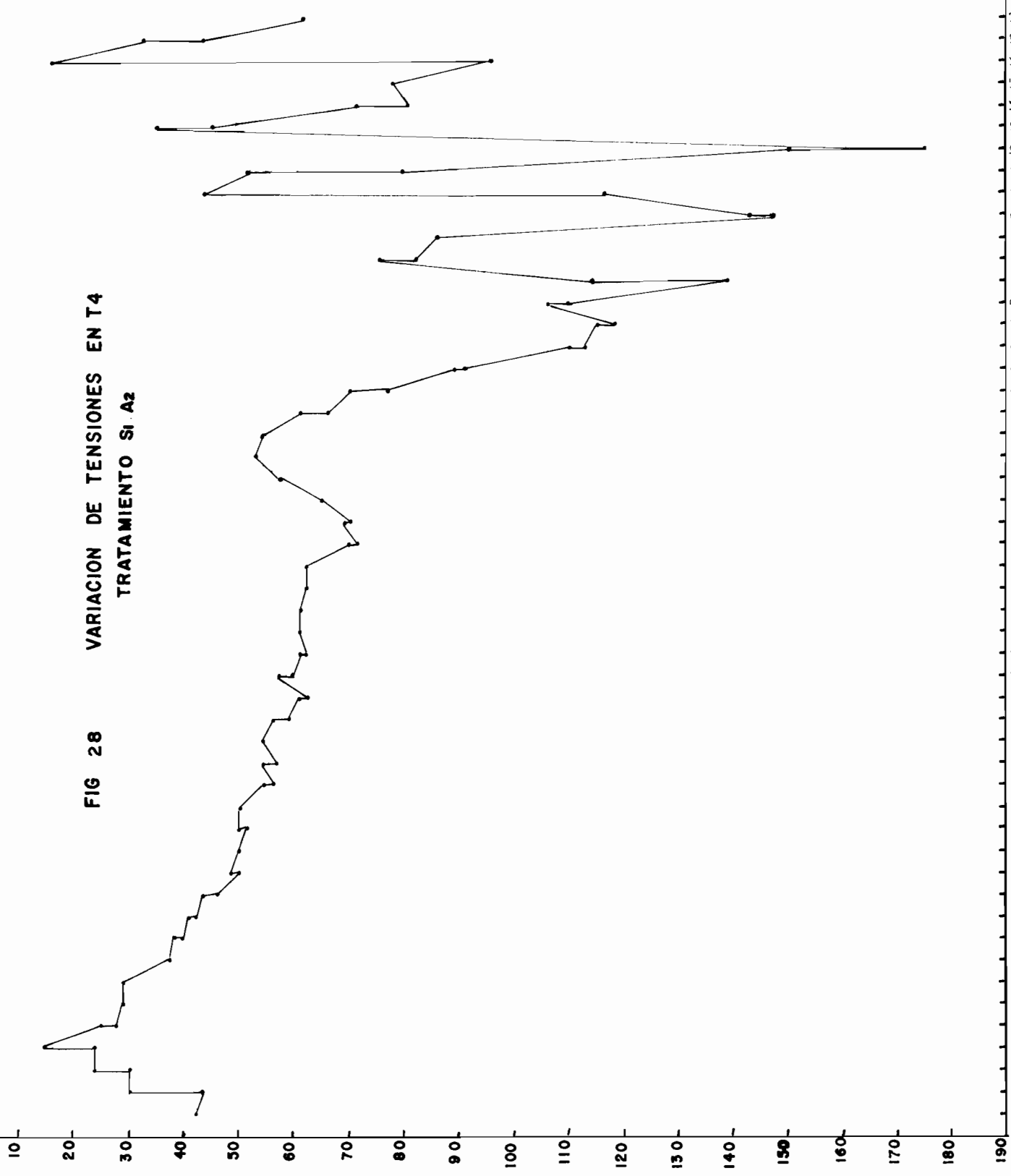


FIG 28 VARIACION DE TENSIONES EN T4 TRATAMIENTO Si A2

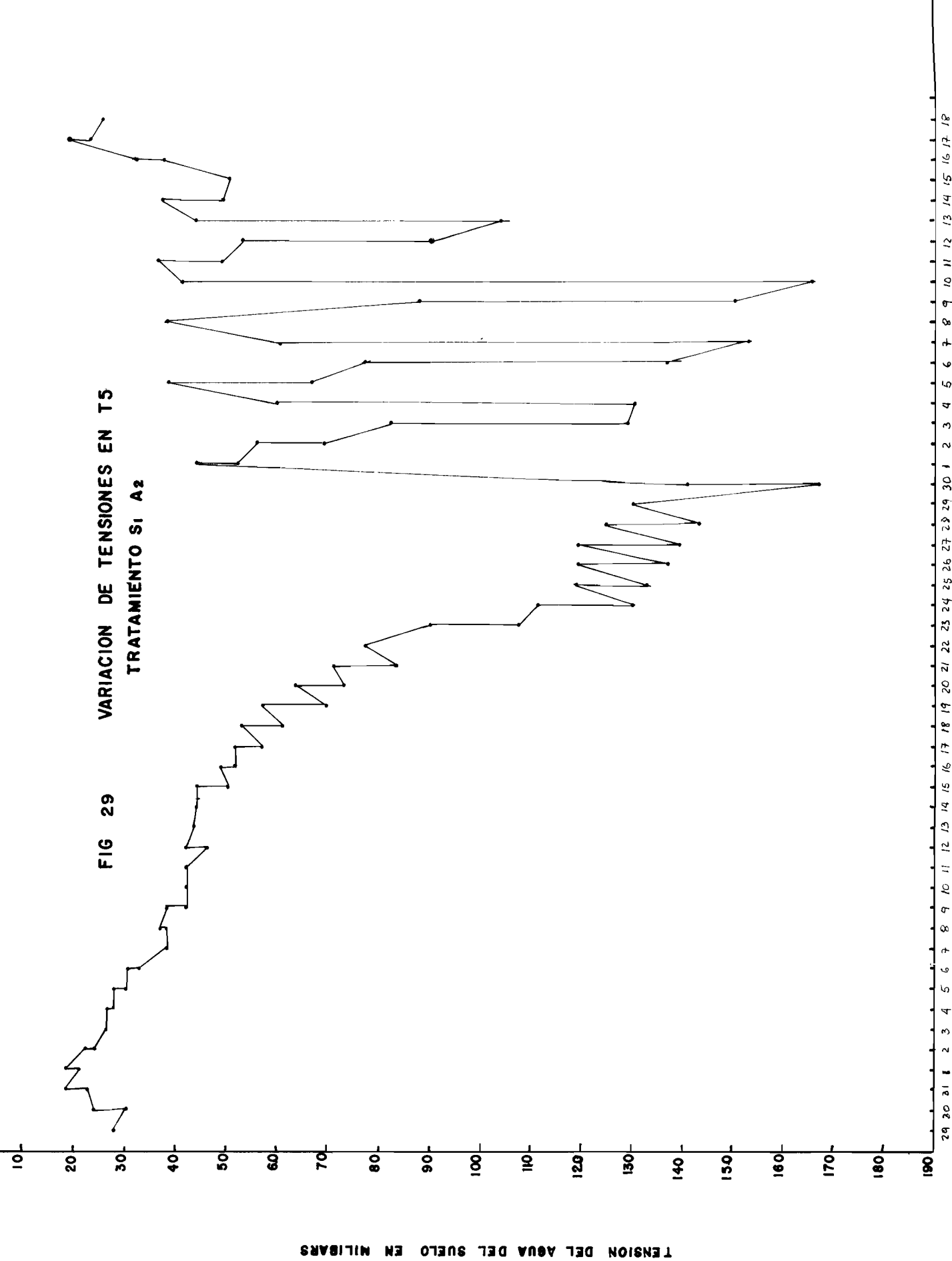


FIG 29 VARIACION DE TENSIONES EN T5  
TRATAMIENTO S1 A2

TENSION DEL AGUA DEL SUELO EN MILIBARS

29 20 21 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 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

FIG 30 VARIACION DE TENSIONES EN T6  
TRATAMIENTO SI A2

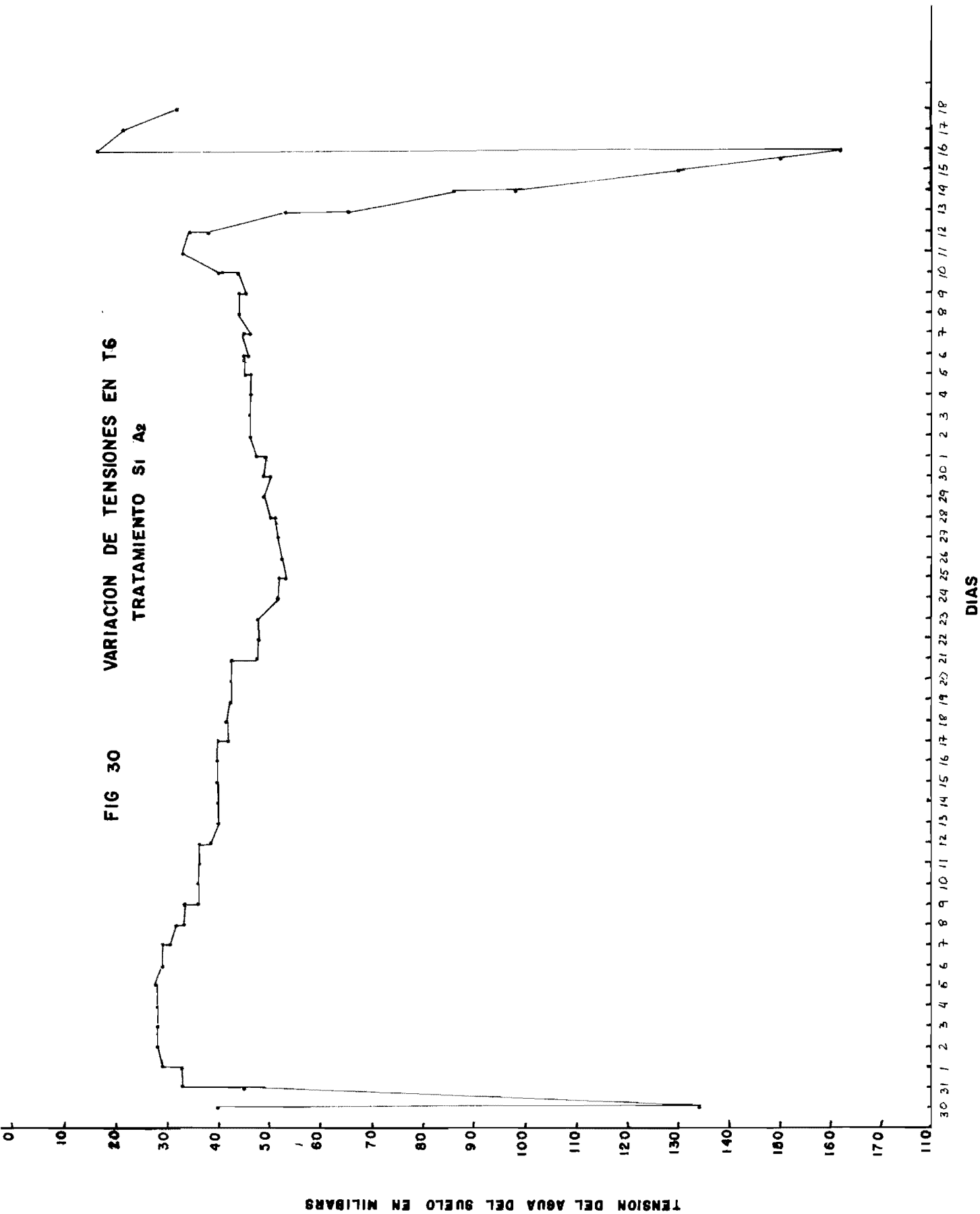




FIG 31 FORMACION Y AVANCE DEL FRENTE DE HUMEDAD EN  $S_1$  CON  $A_1$



FIG 32 FRANJA HUMEDA QUE SE EXTIENDE EN  $S_1$  CON  $A_1$



FIG 33 FRANJA HUMEDA QUE SE EXTIENDE EN  $S_2$  CON  $A_1$

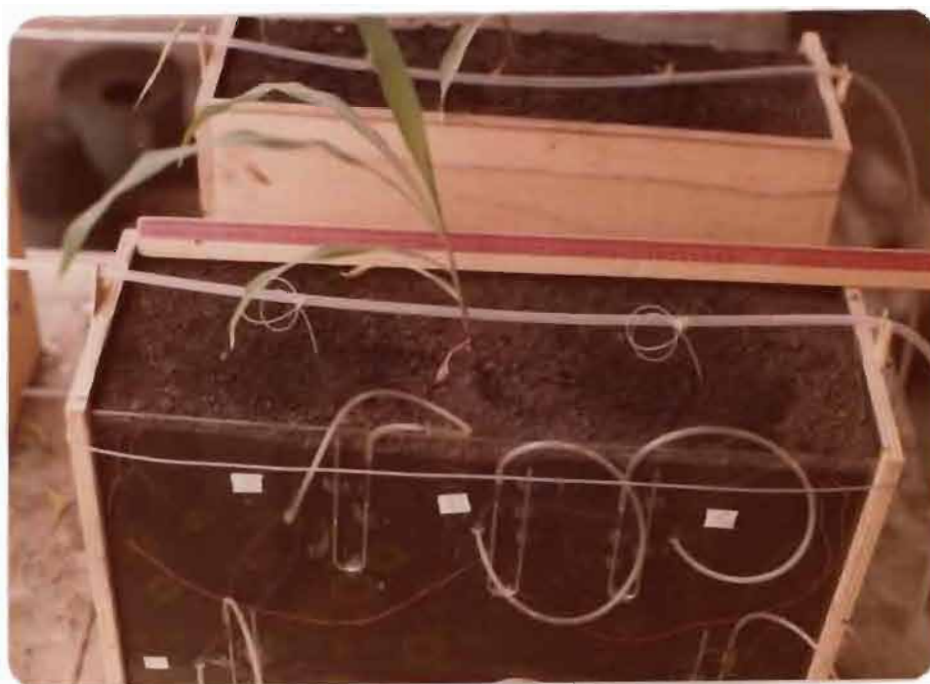


FIG 34 FRANJA HUMEDA QUE SE EXTIENDE EN  $S_2$  CON  $A_2$



FIG 35 FORMACION Y AVANCE DEL FRENTE DE HUMEDAD EN  $S_1$  CON  $A_2$



FIG 36 FRANJA HUMEDA QUE SE EXTIENDE EN  $S_1$  CON  $A_2$