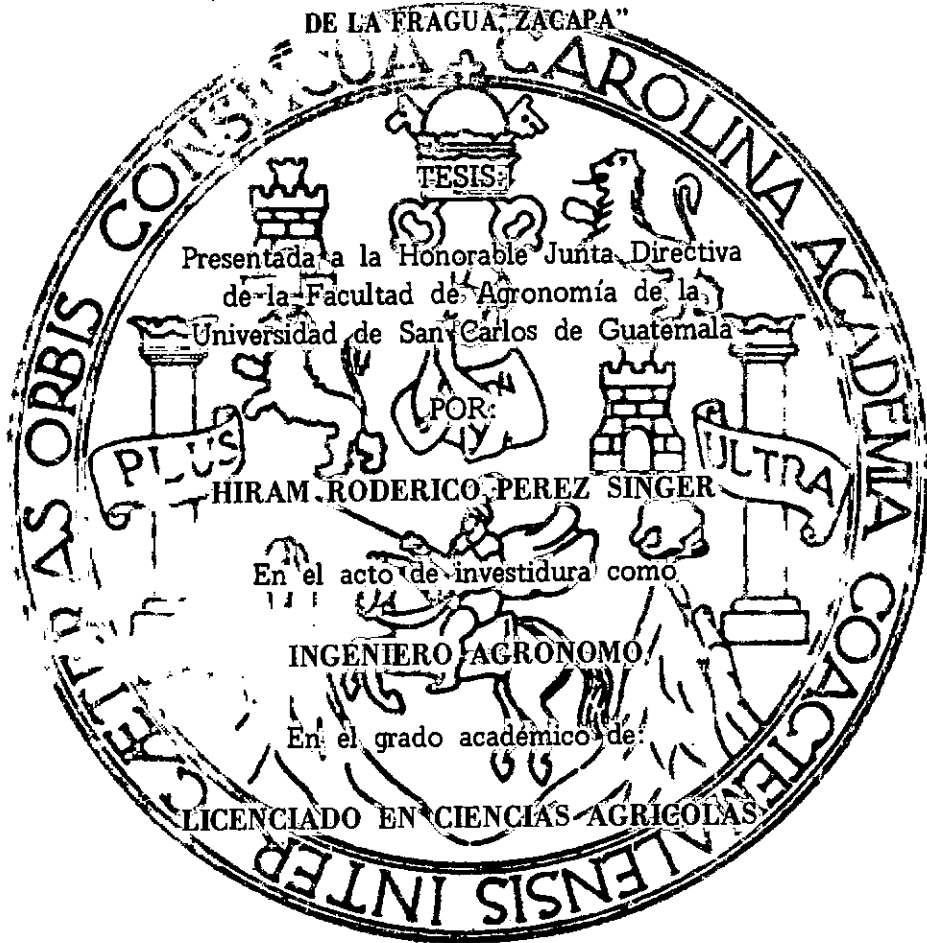


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

"ESTUDIO SOBRE LONGITUD ADECUADA DE SURCOS PARA  
RIEGO, EN UN SUELO REPRESENTATIVO DEL VALLE  
DE LA FRAGUA, ZACAPA"



GUATEMALA, OCTUBRE DE 1978

01  
T(318)  
c.3

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**RECTOR:**

**Lic.**

**Saúl Osorio Paz**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

|                            |                  |                           |
|----------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>DECANO EN FUNCIONES</b> | <b>Ing. Agr.</b> | <b>Rodolfo Estrada G.</b> |
| <b>VOCAL PRIMERO:</b>      | <b>Ing. Agr.</b> | <b>Rodolfo Estrada G.</b> |
| <b>VOCAL SEGUNDO:</b>      | <b>Dr.</b>       | <b>Antonio Sandoval</b>   |
| <b>VOCAL TERCERO:</b>      | <b>Ing. Agr.</b> | <b>Sergio Mollinedo</b>   |
| <b>VOCAL CUARTO:</b>       | <b>Br.</b>       | <b>Juan Miguel Irias</b>  |
| <b>VOCAL QUINTO:</b>       | <b>P.A.</b>      | <b>Giovanni Reyes</b>     |
| <b>SECRETARIO:</b>         | <b>Ing. Agr.</b> | <b>Leonel Coronado</b>    |

**TRIBUNAL QUE EFECTUO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO**

|                    |                  |                             |
|--------------------|------------------|-----------------------------|
| <b>DECANO:</b>     | <b>Ing. Agr.</b> | <b>Carlos F. Estrada C.</b> |
| <b>EXAMINADOR:</b> | <b>Ing. Agr.</b> | <b>Salvador Castillo</b>    |
| <b>EXAMINADOR:</b> | <b>Ing. Agr.</b> | <b>Teodoro Engelhart</b>    |
| <b>EXAMINADOR:</b> | <b>Ing. Agr.</b> | <b>Mario Moscoso C.</b>     |
| <b>SECRETARIO:</b> | <b>Ing. Agr.</b> | <b>Oswaldo Porres G.</b>    |

## **ACTO QUE DEDICO**

**A MI ESPOSA:** Gloria A. Díaz de Pérez

**A MIS HIJOS:** Hiram Roderico  
Vivian Karina

**A MIS PADRES:** Francisco Pérez Estrada  
Alicia Singer de Pérez

**A MIS PADRES POLITICOS:** Carlos Días Ozaeta  
Amelia Tanger de Díaz

**A MI ABUELITA:** Justina Chacón (Q.E.P.D.)

**A MIS HERMANOS Y HERMANAS**

**A MIS CUÑADOS Y CUÑADAS**

**A MIS FAMILIARES Y AMIGOS**

**TESIS QUE DEDICO**

**A DIOS TODO PODEROSO**

**A MI PATRIA GUATEMALA**

**A LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

**A MIS EX-CATEDRATICOS Y COMPAÑEROS**

**A MI ASESOR DE TESIS: Ing. Agr. Oscar González H.**

21 de septiembre de 1978

Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.  
Decano en Funciones  
Facultad de Agronomía de la USAC  
Presente

Señor Decano:

Por este medio me permito informar a usted, en atención al nombramiento efectuado para asesorar el trabajo de tesis realizado por el estudiante, Hiram Roderico Pérez Singer, titulado "ESTUDIO SOBRE LONGITUD ADECUADA DE SURCOS PARA RIEGO, EN UN SUELO REPRESENTATIVO DEL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA" que dicho trabajo ha sido revisado y encontrado satisfactorio para llenar los requisitos que establece la Universidad para ser presentado como tesis de grado.

Dicho trabajo constituye un aporte positivo para el desarrollo de las actividades de producción en la agricultura bajo riego en Guatemala.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Oscar A. González H.  
ASESOR

**HONORABLE JUNTA DIRECTIVA  
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Con verdadera satisfacción y significativo honor para mí, someto a vuestro elevado criterio profesional, la consideración del trabajo de tesis titulado: "ESTUDIO SOBRE LONGITUD ADECUADA DE SURCOS PARA RIEGO, EN UN SUELO REPRESENTATIVO DEL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA".

Si el presente trabajo merece vuestra aprobación, se habrá concluído el último de los requisitos establecidos en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para optar al título profesional de INGENIERO AGRONOMO en el grado académico de LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS.

Aprovecho la oportunidad para presentaros mis saludos, así mismo reiteraros el testimonio de mi más altas muestras de consideración y respeto.

Atentamente,

Hiram Roderico Pérez Singer.

## AGRADECIMIENTO

El autor del presente trabajo, desea dejar constancia de su reconocimiento y agradecimiento, al personal administrativo del Centro de Capacitación Agrícola para la Región VII, Zacapa, así como al personal técnico del Laboratorio de Suelos de la Unidad de Estudios y Proyectos de DIGESA, Ministerio de Agricultura, por su colaboración prestada para efectuar las pruebas de campo y los análisis correspondientes.

Así también, su especial agradecimiento al asesor del presente trabajo, Ing. Agr. Oscar González Hernández, por su valiosa colaboración en la elaboración de este trabajo.

## CONTENIDO

|                                                                           | PAGINA |
|---------------------------------------------------------------------------|--------|
| INDICE DE FIGURAS                                                         | i      |
| INDICE DE CUADROS                                                         | i      |
| INDICE DE GRAFICAS                                                        | ii     |
| 1. INTRODUCCION                                                           | 1      |
| 2. OBJETIVOS                                                              | 3      |
| 3. REVISION DE LITERATURA                                                 | 5      |
| 3.1 El método de riego por surcos                                         | 5      |
| 3.2 Principios generales para el diseño de un sistema de riego por surcos | 7      |
| 3.3 Movimiento del agua en el suelo                                       | 8      |
| 3.3.1 Movimiento horizontal                                               | 9      |
| 3.3.2 Movimiento vertical                                                 |        |
| 3.4 Velocidad de infiltración y métodos para medirla                      | 10     |
| 3.4.1 Método del cilindro                                                 | 11     |
| 3.4.2 Método del infiltrómetro del surco                                  | 13     |
| 3.4.3 Método de entradas y salidas                                        | 13     |
| 3.4.4 Método del balance de masas                                         | 14     |
| 3.5 Ecuaciones para representar la velocidad de infiltración              | 15     |
| 3.6 Avance del agua superficial                                           | 17     |
| 3.6.1 Ecuaciones para representar el avance del agua                      | 18     |
| 4. LOCALIZACION DEL AREA DE TRABAJO                                       | 21     |
| 5. MATERIALES Y METODOS                                                   | 23     |
| 5.1 Tratamientos                                                          | 23     |
| 5.2 Procedimiento                                                         | 23     |
| 5.3 Equipo utilizado                                                      | 25     |

|                                                                         | PAGINA |
|-------------------------------------------------------------------------|--------|
| 6. RESULTADOS Y DISCUSION                                               | 31     |
| 6.1 Características del suelo                                           | 31     |
| 6.2 Velocidad de infiltración                                           | 34     |
| 6.3 Avance del agua                                                     | 37     |
| 6.4 Profundidad de mojado                                               | 38     |
| 6.5 Longitud de surco de acuerdo a lámina de<br>riego y curva de avance | 43     |
| 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                                       | 49     |
| 8. BIBLIOGRAFIA                                                         | 51     |

## INDICE DE FIGURAS

| FIGURA No. |                                                                               | PAGINA |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1.         | Plano de localización del Centro de Capacitación Agrícola, Región VII, Zacapa | 22     |
| 2.         | Plano Topográfico de la parcela de experimentación                            | 27     |
| 3.         | Distribución de surcos para tratamientos de caudal y pendientes               | 28     |
| 4.         | Caja para derivación del agua a los surcos                                    | 29     |
| 5.         | Colocación de las cajas derivadoras en el canal regulador                     | 29     |
| 6.         | Corte Transversal del canal regulador                                         | 29     |

## INDICE DE CUADROS

| CUADRO No. |                                                                             | PAGINA |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1          | Características texturales del área                                         | 32     |
| 2          | Porciento de retención de humedad a diferentes tensiones en atmósferas      | 33     |
| 3          | Resultados de prueba de infiltración por el método del cilindro             | 35     |
| 4          | Resultados del avance del agua en los surcos                                | 37     |
| 5          | Lámina de agua retenida en centímetros hasta una profundidad de 0.90 metros | 43     |
| 6          | Tiempo de riego para láminas de agua de 5 y 7.5 centímetros                 | 47     |
| 7          | Longitud de surco adecuada de acuerdo a pendiente y caudal de riego         | 48     |

## INDICE DE GRAFICAS

| GRAFICA No. |                                                            | PAGINA |
|-------------|------------------------------------------------------------|--------|
| 1           | Velocidad de infiltración                                  | 36     |
| 2           | Curva de avance del agua en surcos con 0.5o/o de pendiente | 40     |
| 3           | Curva de avance del agua en surcos con 1.0o/o de pendiente | 41     |
| 4           | Curva de avance del agua en surcos con 1.5o/o de pendiente | 42     |
| 5           | Profundidad de mojado para una pendiente de 0.5o/o         | 44     |
| 6           | Profundidad de mojado para una pendiente de 1.0o/o         | 45     |
| 7           | Profundidad de mojado para una pendiente de 1.5o/o.        | 46     |

## 1. INTRODUCCION

El conseguir un aumento importante en la producción agrícola, es una tarea que por los factores que involucra, resulta sumamente difícil. La tradición en nuestro medio, tiene una fuerza enorme que impide o dificulta la introducción de nuevas técnicas; así resulta que el fomento de nuevas zonas agrícolas, suele ser mas prometedor que otros métodos de aumentar la producción, por ejemplo, cuando se agrega un factor totalmente nuevo como el riego, se proporcionan paralelamente oportunidades excepcionales para la introducción de técnicas y nuevos sistemas. Pero sucede que a nivel de agricultor, los sistemas de riego utilizados hasta ahora, están poco adaptados a los suelos y su topografía, ya que no se toman en cuenta los procesos que intervienen en el riego, ocasionando por ello una deficiente aplicación del agua, ya sea por exceso o déficit.

El riego en exceso además de que origina un desperdicio de agua, causa un inmoderado lavado de nutrientes que podrían ser solubles y asimilados por las plantas, aparte de que origina problemas de drenaje.. La falta de agua, provoca que las plantas realicen esfuerzos extraordinarios para extraer el agua de la zona radicular, que al no lograrlo, ocasionan reducción en el crecimiento de las plantas, pudiendo ocasionar hasta su muerte.

El crecimiento demográfico y los problemas económicos que conllevan a una inmoderada inflación, nos ponen de cara al reto de incrementar los niveles de producción y mejorar los ya existentes, para elevar el nivel de vida de nuestro país. Con el presente trabajo, se pretende contribuir al mejoramiento del uso y aplicación del agua para riego por surcos, en una de las zonas de mayor producción bajo riego de cultivos intensivos en Guatemala.

## 2. OBJETIVOS

La aplicación del agua de riego es un proceso complicado, en el cual el agua pasa del estado de corriente libre, al estado de humedad presente en el suelo. Al entrar el agua en contacto con el suelo, se desarrollan una serie de procesos físicos y químicos, y sobre el agua en estado de humedad del suelo, actúan fuerzas que no actúan estando el agua en estado libre. Es importante emplear determinadas técnicas de aplicación del agua, de modo que la conversión se efectúe con la mayor eficiencia posible, y para la escogencia de ésta técnica, hay que tomar en cuenta ciertos factores elementales y determinantes como son:

- topografía
- caudal disponible
- características del suelo
- propiedades físicas y químicas del suelo
- cultivo.

Muy importante es maximizar la aplicación del agua de riego, tomando en cuenta todos los factores y condiciones locales, ya que la aplicación defectuosa produce efectos acumulativos, que al usarlos continuamente, eventualmente causaría problemas irreparables.

Los objetivos del presente trabajo, son:

1. Determinar la longitud de surco adecuada para un suelo representativo del Valle de la Fragua, al utilizar en el riego diferentes caudales y pendientes de surco.
2. Elaborar tablas y gráficas que permitan al agricultor, hacer aplicaciones prácticas de los resultados obtenidos.

### 3. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1 El método de riego por surcos.

Es el método de riego por superficie más utilizado para cultivos que se pueden sembrar en hileras, y consiste en pequeños canales con tamaño y forma que dependen del cultivo y del equipo de labranza disponible. El agua que fluye en los surcos (3) penetra en el suelo y se extiende lateralmente para alimentar las áreas entre los surcos. El tiempo en que el agua debe correr en los surcos, depende del volumen que se requiera para alimentar la zona de las raíces, de los grados de infiltración del agua en el suelo y de expansión lateral en la tierra. Para la mayor parte de suelos, las corrientes iniciales de riego, deben exceder suficientemente el grado de infiltración, a fin de que avancen con rapidez. Por lo tanto, cuando el agua llega a su límite de recorrido, las corrientes deben ajustarse o limitarse a fin de evitar el excesivo desperdicio de los excedentes superficiales, o bien tomar medidas para recuperar el excedente o "agua de cola".

Cuando se diseña un sistema de riego por surcos que tienen determinada pendiente, ésta debe ser continua y casi uniforme que siga la misma dirección. Los surcos con pendiente pueden usarse en toda clase de suelos, a excepción de los muy arenosos que tienen un alto grado de infiltración, y naturalmente, proporcionan una distribución lateral y de avance muy escasa. Debe emplearse con extremo cuidado, en suelos con altas concentraciones de sales y mejor si se piensa en un sistema de drenaje superficial capaz de expulsar las sales de las zonas cercanas a la raíz de las plantas, y así lograr que el método sea empleado con éxito. Tanto las grandes corrientes como las pequeñas, pueden emplearse haciendo ajustes al número de surcos regados de acuerdo con el flujo disponible. Por lo tanto, se puede utilizar cualquier tipo de provisión de agua procedente de flujo continuo que llene las necesidades de riego. Si se utilizan surcos en terrenos a nivel, se requiere de una introducción grande

de corriente de agua, tanto como la que el suelo pueda contener para que el agua se distribuya a lo largo y ancho de los surcos, con una profundidad uniforme y esté estática hasta ser absorbida totalmente por el suelo. Para terrenos con pequeñas lomas, se pueden diseñar surcos en contorno, siguiendo la dirección de las curvas de nivel y con una ligera pendiente para que el agua pueda correr. Los surcos se alimentan individualmente con acequias o tubería hacia abajo de la loma.

Como ventajas que presenta el método de riego por surcos, podemos mencionar las siguientes:

- 1o. El método es utilizable para todos los cultivos que se pueden sembrar en hileras.
- 2o. Los surcos pueden usarse en toda clase de suelos, a excepción de los muy arenosos.
- 3o. Su tamaño y forma se pueden adaptar al cultivo.
- 4o. Al regar solamente el área del surco y no todo el terreno, se utiliza menor cantidad de agua que con otros métodos de riego.
- 5o. Se pueden usar corrientes de agua grandes o pequeñas, ya que el agua se distribuye en varios surcos a la vez.
- 6o. Los surcos también sirven para drenaje de los excedentes de aguas pluviales.
- 7o. No necesitan de instalaciones costosas ni equipo especial, porque se construyen en cada temporada de siembra con equipo normal de labranza.
- 8o. Su costo es bastante bajo.

Como limitaciones para el método de riego por surcos, podemos señalar las siguientes:

- 1o. Requiere de un trabajo manual bastante alto.
- 2o. El flujo que va a cada surco debe ser regulado cuidadosamente para que la distribución del agua sea uniforme, con el mínimo de desperdicio.

- 3o. Los terrenos deben estar bien nivelados, e instalarse los dispositivos necesarios para coleccionar y disponer de los excedentes superficiales.
- 4o. El método debe seguirse con toda regularidad y cuidado a fin de evitar desbordamiento y deslaves en los surcos.
- 5o. No es apropiado para aplicar riegos ligeros que se necesitan para la germinación de la semilla o en cultivos con raíces poco profundas en suelos con alto grado de infiltración
- 6o. Debe ponerse especial atención en el manejo de caudales, a fin de que éstos no produzcan erosión ni acumulación de sales al final de los surcos.

### 3.2 Principios generales para el diseño de un sistema de riego por surcos

El funcionamiento de un sistema de riego por surcos, (5) ofrece dos períodos característicos: durante el primer período se trata de aplicar el gasto máximo que no produzca erosión objetable del suelo, a fin de que el agua llegue al final del surco en una cuarta o quinta parte del tiempo total de riego, y durante el segundo período, se reduce el gasto para evitar pérdidas de agua, desbordamiento y escurrimiento, y el gasto debe ser tal que iguale el gasto de infiltración a lo largo del surco. El peligro de erosión está en función de la pendiente, el gasto y el grado de erosión específica que el suelo tenga. Los suelos más pesados y menos erosionables admiten una mayor pendiente y un mayor gasto durante el primer período; los suelos con mayor capacidad de infiltración admiten un gasto mayor en el segundo período de riego. Los suelos con textura mas pesada son menos susceptibles a la erosión, pero tienen una menor capacidad de infiltración. Por la primera condición, admiten mayores gastos en el primer período; por la segunda condición, requiere gastos menores en el segundo período.

La longitud de surco debe ser la máxima posible con un

gasto que no produzca erosión del suelo y que permita la llegada del agua al final del surco en un período relativamente corto para asegurar la uniformidad en la infiltración del agua. No existiendo peligro de erosión, los suelos con mayor pendiente admiten surcos mas largos, ya que la velocidad del agua debido a la pendiente, será mayor y el agua llegará al final del surco en un tiempo más corto.

El espaciamiento entre surcos está influenciado por la distribución lateral del agua relacionada a la uniformidad de distribución, a las exigencias laborales del cultivo y al equipo de labranza que se tenga a disposición.

Los factores que afectan la longitud de surco, el espaciamiento entre los mismos y el gasto, son los siguientes: grado de infiltración del suelo, grado de erosión, pendiente y cultivo.

### 3.3 Movimiento del agua en el suelo

#### 3.3.1 Movimiento Horizontal

En términos generales podemos decir que el agua vertida en el suelo, se distribuye uniformemente sobre él y siguiendo una pendiente regular. Una fracción se evapora dependiendo directamente de factores como temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento. Otra fracción se infiltra, virtualmente por la pendiente, capacidad de infiltración del suelo y por el tirante del agua, o sea por el peso del agua que se convierte en una fuerza vertical hacia abajo, siendo mayor cuanto mas gruesa es la capa de agua. Otra fracción se desliza descendiendo en el sentido de la pendiente.

La velocidad de deslizamiento, además de estar limitada por la pendiente, evaporación e infiltración, también está influenciada por el caudal de agua y por el coeficiente de

rugosidad del suelo. Por lo tanto la velocidad de progresión, al estar influenciada por los factores mencionados anteriormente, se puede representar con una fórmula comparable a la de Bazin (8) para el desagüe de canales:

$$V = (n \sqrt{I}) (h - E_v - I_n)$$

Donde:  $v$  = velocidad de progresión o deslizamiento  
 $h$  = espesor de la lámina de agua.  
 $n$  = la naturaleza de la superficie del suelo sobre el cual se desliza el agua, o sea el coeficiente de rugosidad.  
 $I$  = pendiente del suelo.  
 $E_v$  = evaporación.  
 $I_n$  = infiltración.

### 3.3.2 Movimiento Vertical

El movimiento del agua en el subsuelo (2), 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. Debido al calor, se vaporiza y se funde en el aire que encierra el suelo. El grado o proporción en que el agua de gravitación se filtra 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 grandes poros del suelo de textura gruesa. Se desplaza con menor rapidez en los suelos con textura fina por la resistencia al flujo en los poros pequeños que, a su vez, pueden estar bloqueados por geles coloidales hinchados y por aire atrapado. La filtración se retarda por causa de capas de lenta permeabilidad, así como por partículas de arena vítrea. Sin embargo, una vez que el agua penetra en dichas capas, sigue su movimiento descendente.

El agua de riego se mueve hacia abajo, de una capa saturada o humedecida 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. En suelos húmedos, el movimiento del agua es mas uniforme que en los terrenos secos.

La textura del suelo influye en el movimiento del agua capilar, así las fuerzas que originan este movimiento en los poros pequeños se deben en su mayor parte, a las diferencias de tensión en la capa de distinto grosor que envuelve a las partículas; el movimiento se registra de las capas de mayor grosor hacia las más delgadas. Si expresamos este movimiento en términos de tensión, el agua se desplaza de un área de baja a una de alta. En el punto de saturación el movimiento por capilaridad es más rápido en suelos arenosos que en suelos arcillosos, aunque, en terrenos mas secos o no saturados, el agua capilar se mueve más lentamente en los arenosos y más rápidamente en los que son arcillosos.

El calor es la causa de que el agua se desplace como vapor. El agua vaporizada se difunde a través del aire del suelo, cerca de la superficie; se condensa en algunas cavidades del poro o escapa hacia la atmósfera. Al evaporarse el agua en la superficie, el agua capilar surge y reemplaza parte de esa evaporación. Este fenómeno continúa hasta que los centímetros superiores del suelo se secan y se rompe la capilaridad. En esta situación, el agua se pierde en el suelo solamente por evaporación en el borde superior capilar y su disseminación en la capa seca más superficial del suelo. También encontramos pérdidas de agua en las capas inferiores, por percolación profunda o drenaje natural.

### **3.4 Velocidad de Infiltración y métodos para medirla.**

Se conoce como infiltración (2), al flujo del agua de la

superficie del suelo hacia abajo. El agua penetra en el suelo por los poros, grietas, orificios practicados por gusanos y ocasionados por raíces podridas, así como por las cavidades hechas durante la labranza. En muchos lugares la infiltración queda restringida por la corteza y el estado de las capas superficiales. Para que el agua de riego sea eficaz en el reabastecimiento del agua en el suelo, debe moverse hacia abajo o infiltrarse hasta una profundidad determinada. El grado de infiltración depende de la permeabilidad del suelo o de su conductividad hidráulica. Ambos términos se emplean para describir la facilidad que tenga el suelo para la transmisión del líquido.

Se conocen muchos métodos para medir la velocidad de infiltración, que a través del tiempo, han sido modificados y perfeccionados.

Algunos de ellos son:

#### 3.4.1 Método del Cilindro

Desde el año 1929, Musgrave (6) diseñó el infiltrómetro de cilindro para determinar la variación de la velocidad de infiltración a través del tiempo.

El método consiste en enterrar en el suelo, un cilindro hueco de acero, de aproximadamente 25 cm., de diámetro por 40 cm., de alto. Se agrega agua en su interior, hasta cierto nivel y se va reponiendo cada vez que el agua se infiltra aproximadamente 1 cm., llevando un registro del tiempo que tarda el agua en infiltrarse ese centímetro, para determinar la velocidad de infiltración a través del tiempo.

Posteriormente se modificó el método, agregándole otro cilindro concéntrico, con el objeto de obtener una zona amortiguadora de la infiltración lateral.

Las variaciones en el campo por agrietamientos persistentes en algunos suelos, hace que se dificulten las determinaciones de infiltración por este método. Además la función obtenida, no representa la que ocurre en el surco durante el riego, por las siguientes razones: (6)

- 1o. La superficie del terreno está dispuesta en forma diferente en el surco y en el infiltrómetro.
- 2o. El tirante de agua en el surco es variable, y en el infiltrómetro se mantiene constante.
- 3o. La velocidad de infiltración, varía en los diferentes puntos del surco, y en el infiltrómetro se está determinando en un solo punto.
- 4o. Al introducir el infiltrómetro en el suelo, éste se altera.

Los límites normales de la capacidad de infiltración, se han establecido como sigue: (7)

- 1o. Infiltración alta: mayor de 125 mm/hora.
- 2o. Infiltración moderada alta: de 60 a 125 mm/hora.
- 3o. Infiltración moderada baja: de 25 a 60 mm/hora.
- 4o. Infiltración baja: menor de 25 mm/hora.

Fernández y Galván (6), introdujeron una modificación al infiltrómetro, haciéndolo infiltrógrafo mediante un dispositivo de relojería, un graficador y un depósito que por medio de una válvula de flotador, proveía de agua al cilindro, logrando con esto un nivel constante en él. Conociéndose previamente la relación de las áreas del cilindro y del depósito, es factible que por medio de los decrementos del nivel de agua, en éste último se determinen los datos de velocidad de infiltración y tiempo, los cuales se grafican en un papel enrollado en un tambor, que gira por medio del mecanismo de relojería.

### 3.4.2 Método de infiltrómetro de surco

Bondurandt (6), tratando de obtener una infiltración que fuera representativa de la que ocurre en el surco, diseñó el infiltrómetro de surco, que consiste en dos placas de acero de 1.20 metros de largo por 30 cm de altura, válvulas de mecanismos flotador, un micrómetro y un depósito para proveer agua. El infiltrómetro se coloca en un área representativa del surco, poniendo las placas transversales al surco y con una separación de 30 cm, enterrándolas unos 10 ó 15 cm. En la parte exterior de las placas, se hacen bordos de tierra, con el objeto de amotiguar la infiltración lateral. Las lecturas se hacen de la misma forma que con el infiltrógrafo de doble anillo.

La función obtenida por este método, tampoco representa la infiltración que ocurre en el surco durante el riego, por las siguientes razones:

- 1o. El tirante de agua es variable en el surco durante el riego, no así en el infiltrómetro de surco.
- 2o. La infiltración obtenida por este método, representa la ocurrida en un punto del surco y no a todo lo largo de él.

### 3.4.3 Método de Entradas y Salidas

Criddle y colaboradores (4), refieren un método para obtener la infiltración en surcos, que consiste en aforar simultáneamente en un tramo de los surcos, los volúmenes de agua que entran y salen, registrando también el tiempo al cual se hacen los aforos. Por diferencia se determina el volumen infiltrado, que referido a la superficie del surco y al tiempo, permite obtener la función de infiltración.

González, G.F. (6) probando diferentes pendientes, en diferentes suelos con diferentes gastos, encontró que este método

de una aproximación de la velocidad de infiltración, pero no la representa, debido a que se trabaja con escurrimiento no establecido y no se toma en cuenta el volumen de agua almacenado sobre el surco, dato necesario para establecer el balance de masas.

### 3.4.4 Método del balance de masas

Este método se basa en el principio del balance de masas.

$$V_d = V_i + V_a + V_e \quad [1]$$

Donde:  $V_d$  = volumen derivado al surco =  $Q_t$   
 $V_i$  = volumen infiltrado.  
 $V_a$  = volumen almacenado sobre el surco.  
 $V_e$  = volumen evaporado (despreciable).  
 $V_i = Q_t - V_a$

Hall (6), Davis (6), Fok y Bishop (6), usan este método determinando la forma de variación del tirante de agua sobre el surco, para obtener el volumen almacenado, mediante la siguiente ecuación:

$$h = D_o \left[ 1 - \frac{1}{t} \frac{(x)^{1/b}}{A} \right] \quad [2]$$

Donde:  $h$  = tirante de agua en el punto "x" cuando ha transcurrido el tiempo "t"  
 $D_o$  = tirante de agua constante en el extremo superior del surco.  
 $b$  = exponente de la función de avance.  
 $A$  = coeficiente de la función de avance.

Conocidos los datos de tirantes de agua a lo largo del surco y del área transversal, se obtienen el volumen almacenado

sobre el mismo, y por medio de la ecuación No. 1, se determina la función de infiltración.

Smerdon y Honhn (6), utilizan una fórmula empírica para determinar la variación del volumen del agua sobre el surco. La ecuación es la siguiente:

$$V_a = 2.83 D_o^{5/3} X \quad [3]$$

Donde:  $V_a$  = volumen almacenado

$D_o$  = tirante constante en el extremo superior del surco.

$X$  = avance del agua en el tiempo "t" al cual se hizo la determinación.

Conociendo el  $V_a$ , se determina la función de infiltración con la ecuación No. 1.

### 3.5 Ecuaciones para representar la velocidad de infiltración.

Averynanov (1), desarrolló la siguiente ecuación para representar la velocidad de infiltración:

$$V_t = k_b \left[ 0.75 + 0.25 \sqrt{1 + \frac{1}{t} (a_1 + a_2 h)} \right]$$

Donde:

$$K_b = \left( \frac{W_l - W_o}{M - W_o} \right)^{3.5} \quad [4]$$

$$a_1 = \frac{5.76 W_l H_k}{K_b} \left( \frac{W_l - W}{W_l - W_o} \right)^2$$

$W$  = o/o de humedad a que se encuentra el suelo.

$W_l$  = o/o de humedad a saturación.

$W_o$  = capacidad de campo.

$M$  = porosidad

$K$  = velocidad de infiltración básica.

$T$  = tiempo. tiempo.  
 $H_k$  = altura capilar.  
 $h$  = tirante de agua en el suelo.

Israelsen (6), asume una velocidad de infiltración y un tirante de escurrimiento constante, y presenta la siguiente ecuación:

$$V_y = \frac{I_f}{ns} \quad [5]$$

Donde:  $V_y$  = velocidad descendente del agua.  
 $I_f$  = velocidad de infiltración básica  
 $n$  = porosidad  
 $s$  = incremento de saturación durante el riego.

Fok y Bishop (6), refieren las siguientes ecuaciones empíricas, usadas por la mayoría de los investigadores:

$$I = KT^n \quad [6]$$

$$I = Co + KT^n \quad [7]$$

$$I = B + Ee^{-rt} \quad [8]$$

Donde:  $I$  = Velocidad de infiltración.  
 $T$  = Tiempo  
 $e$  = 2.718 base de los logaritmos naturales  
 $K, n, Co, B, E, r$  = constantes empíricas que dependen de las características del suelo y de las condiciones en que se efectúe la determinación.

La ecuación No. 6 ha sido ampliamente usada como la expresión de la velocidad de infiltración para un periodo corto de riego, generalmente dentro de las 24 horas.

La ecuación No. 7, puede dar mejores resultados para períodos más largos.

La ecuación No. 8, no ha sido muy usada debido a su complejidad matemática.

Vladimirescu (9), hace intervenir un nuevo parámetro "Uo" en la ecuación de infiltración, el cual obtiene de la ordenada del origen donde la curva corta al eje, sin considerar la curva asintótica al eje de las ordenadas.

$$U = U_c + (U_o - U_c) e^{-st} \quad [9]$$

Donde: U = velocidad de infiltración.  
 U<sub>c</sub> = velocidad de infiltración básica.  
 U<sub>o</sub> = ordenada al origen (velocidad de infiltración inicial).  
 e = 2.718 base de los logaritmos naturales.

$$s = \frac{1}{t} \quad \text{Ln} \left( \frac{U_1 - U_c}{U_o - U_c} \right)$$

t = tiempo.  
 U<sub>1</sub> = velocidad de infiltración en el tiempo t<sub>1</sub>.

### 3.6 Avance del Agua Superficial.

Criddle y colaboradores (4), refieren el siguiente método:

Se divide el surco a lo largo en estaciones entre 15 y 30 m. Se toma el tiempo a partir de cuando el agua comience a derivarse al surco, y se registra el tiempo cuando el agua llega a cada estación.

Los datos obtenidos, se grafican en un sistema de coordenadas, teniendo como abscisas el tiempo, y como ordenadas la longitud recorrida por el agua, o sea la longitud del surco. En

base a los puntos resultantes, se traza la curva que los representa.

### 3.6.1 Ecuaciones para representar el Avance del Agua

Fok y Bishop (6), Davis (6), Smerdon (6), y Criddle (4), han usado las siguientes ecuaciones empíricas, para representar la función de avance:

$$L = AT^b \quad [10]$$

$$L = C + AT^b \quad [11]$$

Donde:

L = longitud de avance.

T = tiempo de avance.

A, b, C = constantes empíricas que dependen de las características de los suelos y de las condiciones en que se realiza el proceso.

La ecuación No. 10 ha sido muy usada debido a su simplicidad matemática y porque representa el proceso cuando el avance es uniforme, para períodos cortos de riego.

La ecuación No. 11 representa el avance para períodos largos de riego. Hall (6), Davis (6), Fok y Bishop (6) y Emerson (6), relacionaron la función de infiltración con la de avance, para determinar la velocidad de infiltración a través del avance del agua, mediante el siguiente análisis:

Integrando la ecuación  $I = KT^n$  se obtiene la lámina infiltrada "D" respecto al tiempo:

$$D = \int_0^t I dt = \int_0^t KT^n dt = \frac{KT^n + 1}{n + 1} \quad [12]$$

Despejando "T" de la ecuación No. 10, se tiene:

$$T = \left( \frac{X}{A} \right)^{1/b}$$

Sustituyendo la ecuación No. 12, se tiene:

$$D = \frac{K \left[ \frac{X}{A} \right]^{1/b} n + 1}{n + 1}$$

Integrando la ecuación anterior respecto a X, se obtiene la lámina media infiltrada en la longitud X del surco, de la siguiente manera:

$$Dx = \int_0^X D dx = \int_0^X \frac{K \left[ \frac{X}{A} \right]^{1/b} n + 1}{n + 1} dx$$

$$Dx = \frac{K (X)^{\frac{n+1}{b} + 1}}{(n + 1) (A) \left[ \frac{n+1}{b} \frac{n+1}{b+1} \right]} \quad 13$$

Por medio de esta ecuación, se obtiene la función de infiltración a partir de la función de avance.

#### **4. LOCALIZACION DEL AREA DE TRABAJO**

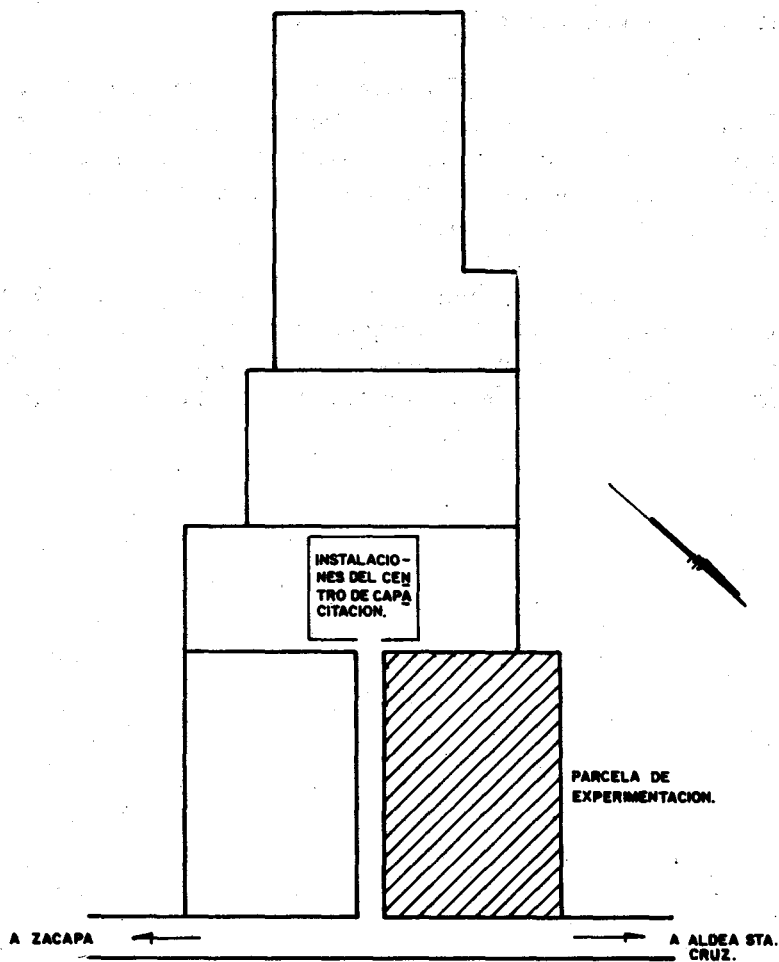
El trabajo se desarrolló en los terrenos que ocupa El Centro de Capacitación Agrícola de la Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA) del Ministerio de Agricultura, para la Región VII, Zacapa.

El Centro de Capacitación Agrícola, está ubicado en el Municipio de la Fragua, del Departamento de Zacapa, sobre la carretera que conduce de la Aldea Santa Cruz en el kilómetro 127 de la carretera al Atlántico, a la cabecera departamental de Zacapa, (carretera antigua).

Se seleccionó una parcela de 4 hectáreas, que además de estar habilitada para experimentaciones propias del Centro de Capacitación, es representativa de los suelos de la Región, y llena los requerimientos de pendientes y longitud. (Ver figura No. 1).

**FIG. N°1**

**PLANO DE LOCALIZACION DEL CENTRO DE CAPACITACION  
AGRICOLA, REGION VII ZACAPA**



## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Tratamientos

En base a los objetivos del presente trabajo, se seleccionaron tres diferentes caudales y tres pendientes, para realizar las pruebas de campo. Los caudales seleccionados son de 5, 10 y 15 lps., cuya selección se hizo tomando en cuenta que eran los caudales más comunes manejados en dicha zona. Sin embargo, se considera que éstos caudales son mayores de los teóricamente recomendables, y posteriormente podrán ajustarse a condiciones propias de cada terreno, mediante trabajos de extensión en prácticas de riego.

Las pendientes seleccionadas, también son producto de pendientes promedio de terrenos que actualmente se encuentran bajo riego, y en los cuales no ha sido efectuada ninguna obra de nivelación.

Los tratamientos de pendientes seleccionados, son de 0.5, 1.0 y 1.5o/o

### 5.2 Procedimiento

- 1o. Levantamiento topográfico. Se efectuó la nivelación del área en el campo y en gabinete se desarrolló el correspondiente plano, determinándose la dirección de las pendientes de 0.5, 1.0 y 1.5o/o, que posteriormente se replantearon en el terreno, señalando su dirección con estacas. (ver figura No. 2).
- 2o. Se aplicó un riego superficial, con el objeto de suavizar las capas del suelo. Las corrientes de agua se controlaron a mano, tratando de mojar toda la superficie del terreno y dejando una lámina de agua de unos 5 cm., uniformes, para que por infiltración, humedeciera el perfil del suelo.

- 3o. Construcción de una calicata de 1 m., de diámetro por 1.50 m., de profundidad, para toma de muestras y observación de los perfiles del suelo para su caracterización.
- 4o. Transcurridos 8 días, se procedió a las prácticas de labranza, con dos araduras, una profunda que removió las capas duras del suelo, y otra normal en sentido perpendicular a la primera. Después se rastreó el terreno para desmenuzar los bloques de tierra dejados por efecto del arado, y para uniformizar la superficie del terreno.
- 5o. Se realizaron las pruebas de infiltración, con infiltrómetro de doble anillo proporcionado por la Unidad de Estudios y Proyectos de DIGESA.
- 6o. Determinada la dirección de las pendientes, se procedió a construir cinco surcos por cada tratamiento de caudal, de 1.00 metros de ancho c/u. En cada tratamiento de caudal, se regaron cuatro surcos, dejando uno sin regar para no humedecer por infiltración lateral, los surcos de los tratamientos siguientes. (Figura No. 3).
- 7o. Construcción de un canal regulador de caudal de 20 m., de longitud por 1.50 m., de ancho por 0.50 m., de profundidad, diseñado paralelo al canal principal y con entrada y salida de agua para mantener un tirante de agua constante y sin turbulencia.
- 8o. Colocación de estacas a cada 20 m., a lo largo de los surcos que posteriormente fueron estaciones de registro.
- 9o. Toma de muestras del suelo a cada 60 m., y a profundidades de 30, 60 y 90 cm., para determinar el contenido de humedad del suelo antes del riego.

- 10o. Colocación de cajas calibradas en el canal regulador, para aplicación del agua en cada surco. Las cajas se colocaron a una altura uniforme y a 5 cm., arriba del nivel del fondo de los surcos (Figura No. 4).
- 11o. Para la derivación del agua a los surcos, se abrió una por una las compuertas de las cajas, llevando registro de la hora exacta en que el agua comenzó a derivarse. Asimismo se llevó un registro de avance del agua, anotando la hora en que ésta llegaba a cada estación a todo lo largo de los surcos. Al llegar el agua a la última estación, se cerraron las compuertas de las cajas, y el agua "de cola" drenó por un canal diseñado para el efecto y conectado al canal principal.
- 12o. Después de 24 horas de aplicado el riego, se tomaron muestras del suelo a cada 60 m., y a profundidades de 30, 60 y 90 cm., para determinar el contenido de humedad del suelo.
- 13o. De todas las muestras tomadas antes y después del riego, a profundidades de 30, 60 y 90 cm., y espaciadas a cada 60 m., a lo largo de los surcos, se determinó su contenido de humedad por medio de calentamiento en horno durante 24 horas a 105° C.

### 5.3 Equipo Utilizado

1. Nivel topográfico, estatal, estacas, cinta métrica, libreta de campo.
2. Palas, piochas y azadones.
3. Tractor agrícola equipado con arado de discos, rastra y surqueador.

4. Infiltrómetro de doble anillo y formularios de registro para tiempo de infiltración.

5. Barreno holandés

6. Cajas de madera impermeabilizadas, de 10 cm., de ancho por 10 cm., de alto por 50 cm., de largo, con compuerta a la salida del agua al surco, y previamente calibrados para los diferentes caudales. Recipiente aforado a volumen.

7. Cajas porta-muestras de metal y crayones grasos en diferentes colores para clasificación de las cajas.

8. Cronómetro y formularios de registro para el avance del agua.

FIG. N° 2

PLANO TOPOGRAFICO DE LA  
PARCELA DE EXPERIMENTACION

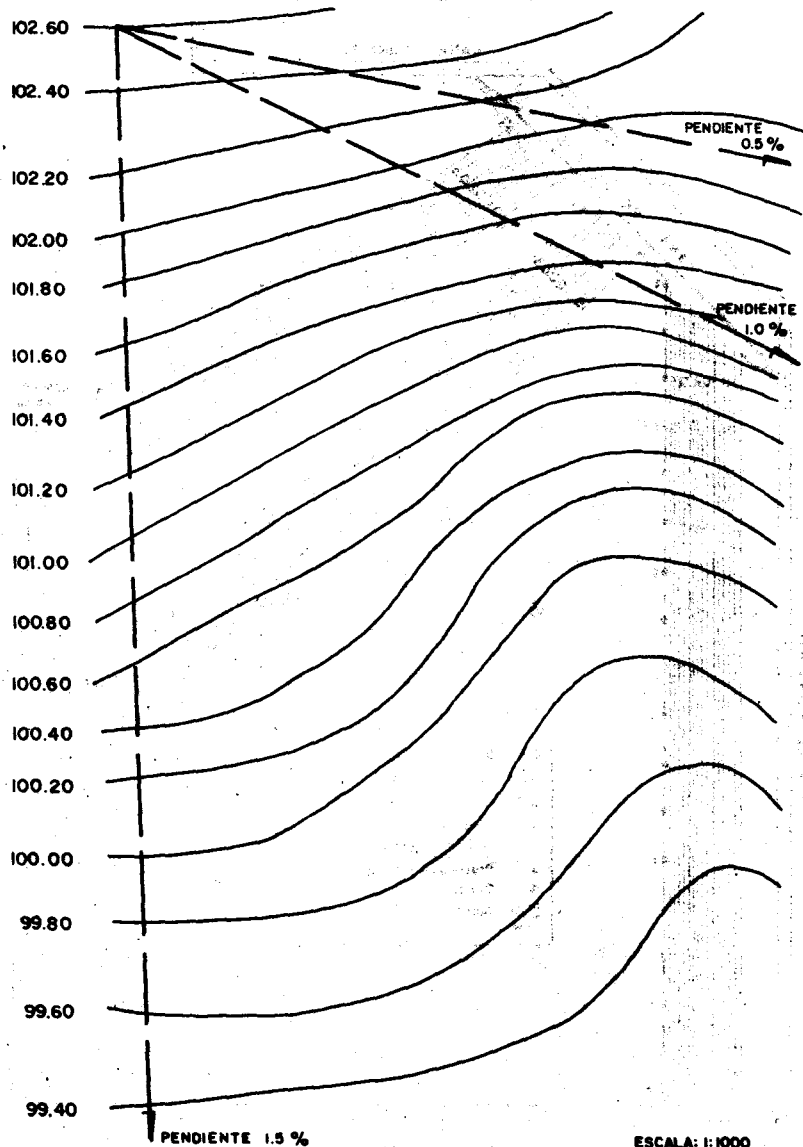


FIG. N° 3

DISTRIBUCION DE SURCOS PARA TRATAMIENTOS  
DE CAUDAL Y PENDIENTES

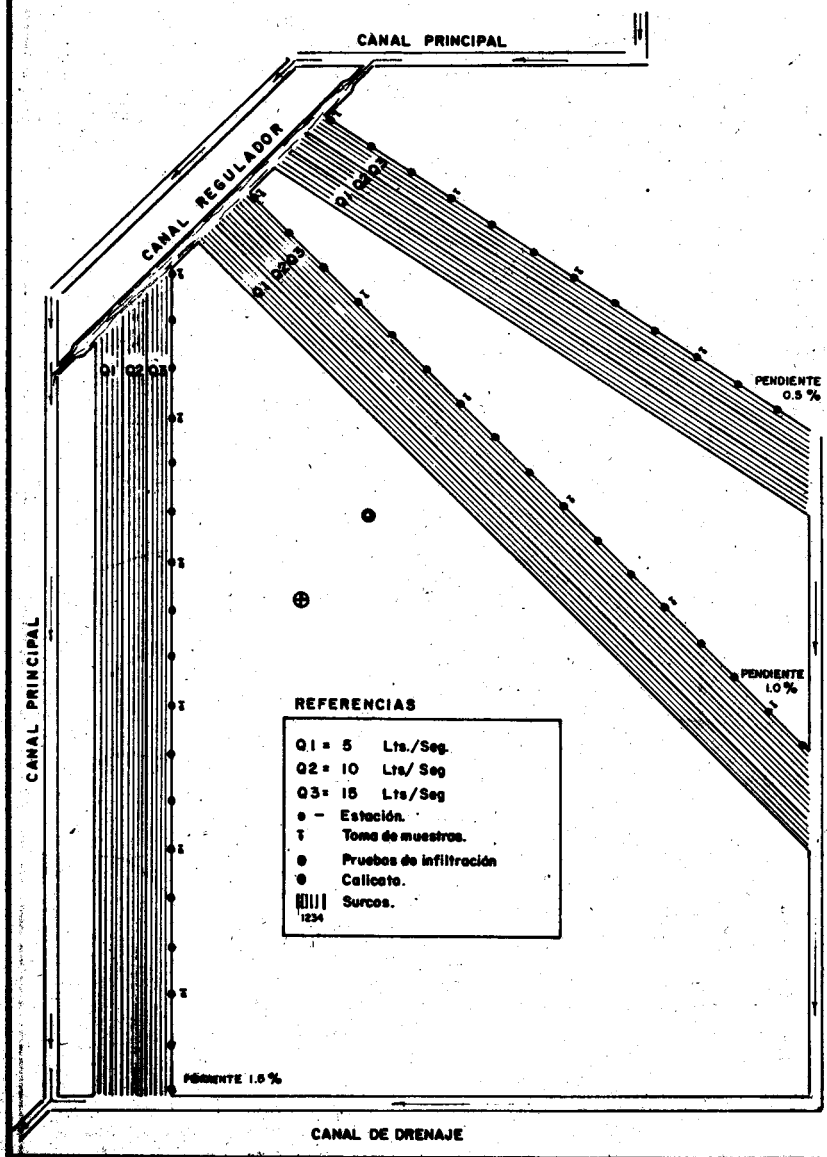


**FIG. N° 4**

**CAJA PARA DERIVACIÓN DEL AGUA A LOS SURCOS**

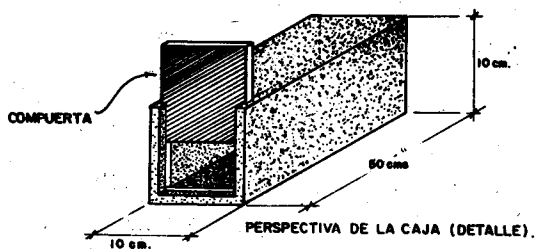


**FIG. N° 5**

**COLOCACION DE LAS CAJAS DERIVADORAS EN EL CANAL REGULADOR**

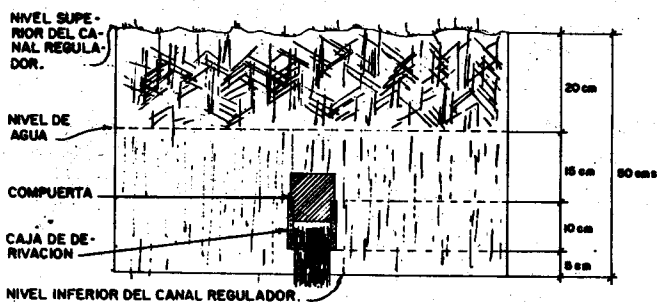
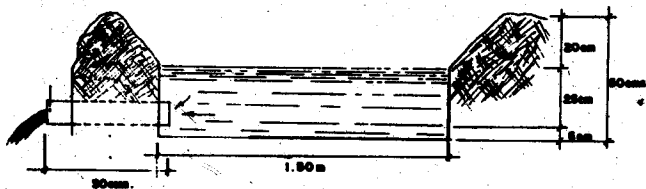


**FIG. N° 6**

**CORTE TRANSVERSAL DEL CANAL REGULADOR**



## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1 Características del suelo.

Las muestras de suelos tomadas en la parcela de experimentación, fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Unidad de Estudios y Proyectos de DIGESA, Ministerio de Agricultura, cuyos resultados se exponen a continuación y en los cuadros Nos.: 1 y 2.

A profundidad de 0-30 cm., el suelo tiene una textura Franco Arcillosa; con estructura en bloques subangulares medianos, moderadamente desarrollados, consistencia dura en seco y friable en húmedo. Bajo contenido de materia orgánica y reacción ligeramente alcalina.

Su color es pardo en seco (7.5 YR 5/4), y pardo rojizo en mojado (5YR 4/4). A profundidad de 30-60 cm., la textura fue arcillosa con estructura en prismas medianos, fuertemente desarrollados y una consistencia dura en seco y firme en húmedo. Bajo contenido de materia orgánica y reacción alcalina. Su color es pardo amarillento en seco (10 YR 5/4) y pardo en mojado (7.5 YR 5/4).

A profundidad de 60-90 cm., presenta una textura Franco. No presenta una estructura masiva y su consistencia es dura en seco y friable en húmedo. También su contenido de materia orgánica es muy bajo y su reacción es ligeramente alcalina. Su color es pardo amarillento claro en seco y pardo amarillento en mojado, (10 YR 6/4) y (10 YR 5/4) respectivamente. A profundidad de 90-120 cm., su textura es Franco Arcilloso Arenoso, con una estructura en bloques subangulares medianos, moderadamente desarrollados y consistencia ligeramente dura en seco y friable en húmedo. Su contenido de materia orgánica es muy bajo y su reacción es alcalina. Tiene un color pardo amarillento claro en seco (10 YR 6/4), y pardo amarillento oscuro en mojado (10 YR 4/4).

## CUADRO No. 1

### CARACTERISTICAS TECTURALES DEL AREA

| Profundidad | Arcilla<br>% | Limo<br>% | Arena<br>% | Clase<br>Textural | Densidad<br>Aparente<br>gr/cm <sup>3</sup> | Materia<br>Orgánica<br>o/o | p <sup>H</sup> | Color (Escala Musell) |            |
|-------------|--------------|-----------|------------|-------------------|--------------------------------------------|----------------------------|----------------|-----------------------|------------|
|             |              |           |            |                   |                                            |                            |                | Seco                  | Húmedo     |
| 0-30 cm     | 27.53        | 30.86     | 41.61      | FAr               | 1.440                                      | 1.453                      | 7.97           | 7.5 YR 5/4            | 5 YR 4/4   |
| 30-60 cm    | 44.30        | 35.48     | 20.22      | Ar                | 1.381                                      | 0.976                      | 8.15           | 10 YR 5/4             | 7.5 YR 5/4 |
| 60-90 cm    | 22.10        | 37.33     | 40.57      | F                 | 1.526                                      | 0.328                      | 7.95           | 10 YR 6/4             | 10 YR 5/4  |
| 90-120 cm   | 26.52        | 19.58     | 53.90      | FArA              | 1.543                                      | 0.259                      | 8.17           | 10 YR 6/4             | 10 YR 4/4  |

## CUADRO No. 2

### PORCIENTO DE RETENCION DE HUMEDAD A DIFERENTES TENSIONES EN ATMOSFERAS

| Profundidad | TENSION EN ATMOSFERAS |       |       |       |       |       | L (cms) |
|-------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|             | 1/3                   | 1     | 2     | 5     | 10    | 15    |         |
| 0-30 cm     | 14.27                 | 10.43 | 8.80  | 8.07  | 7.63  | 6.82  | 3.22    |
| 30-60 cm    | 41.12                 | 34.99 | 32.54 | 26.13 | 25.19 | 23.93 | 7.12    |
| 60-90 cm    | 33.99                 | 24.83 | 20.92 | 16.95 | 15.32 | 15.22 | 8.59    |
| 90-120 cm   | 27.38                 | 22.41 | 20.57 | 15.69 | 14.69 | 14.50 | 5.96    |

En el cuadro No. 2 se presentan los resultados obtenidos sobre la capacidad de retención de humedad de los suelos utilizados en el trabajo. La lámina total capaz de retener este suelo a una profundidad de 120 cms. es de 24.89 cms. Dicha lámina fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$L(\text{cms}) = \frac{\text{o/o CC} - \text{o/o PMP}}{100} \times Da \times Z$$

Donde:

- L = lámina de agua en centímetros.  
 o/o CC = por ciento de humedad en capacidad de campo a una tensión de 1/3 de atmósferas.  
 o/o PMP = por ciento de humedad en punto de marchitez permanente a una tensión de 15 atmósferas.  
 Da = densidad aparente en  $\text{cm}^3/\text{gr}$ .  
 Z = profundidad del estrato en centímetros.

## 6.2 Velocidad de infiltración

Los resultados obtenidos en la prueba de infiltración efectuada por el método del cilindro, se muestran en el cuadro No. 3, los cuales se graficaron para determinar la fórmula de lámina infiltrada y velocidad de infiltración (gráfica No. 1), obteniéndose las siguientes ecuaciones:

$$d = Kt^m$$

Donde:

|   |   |                          |
|---|---|--------------------------|
| d | = | lámina infiltrada en cm. |
| K | = | constante = 1.1          |
| t | = | tiempo en minutos        |
| m | = | 0.536                    |

La ecuación de velocidad de infiltración es la siguiente:

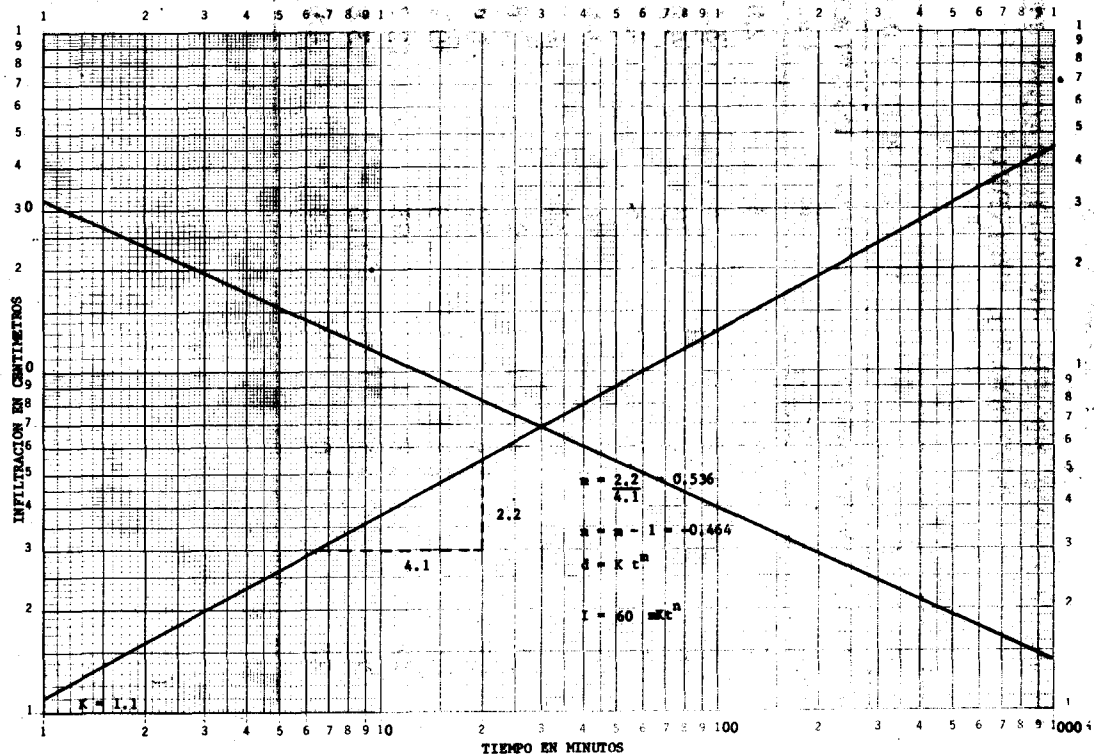
$$I = 60 \times m \times t^n$$

Donde:

|   |   |                                       |
|---|---|---------------------------------------|
| I | = | velocidad de infiltración en cm/hora. |
| m | = | 0.536                                 |
| t | = | tiempo en minutos                     |
| n | = | -0.464                                |

**CUADRO No. 3****RESULTADOS DE PRUEBA DE INFILTRACION POR EL  
METODO DE CILINDRO**

| LECTURAS         |                       | ACUMULADOS       |                       |
|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| TIEMPO<br>(min.) | INFILTRACION<br>(cm.) | TIEMPO<br>(min.) | INFILTRACION<br>(cm.) |
| 3                | 2.0                   | 3                | 2.0                   |
| 5                | 1.1                   | 8                | 3.1                   |
| 5                | 0.9                   | 13               | 4.0                   |
| 5                | 0.7                   | 18               | 4.7                   |
| 5                | 0.9                   | 23               | 5.6                   |
| 10               | 1.1                   | 33               | 6.7                   |
| 10               | 1.1                   | 43               | 7.8                   |
| 15               | 1.6                   | 58               | 9.4                   |
| 15               | 1.5                   | 73               | 10.9                  |
| 20               | 1.8                   | 93               | 12.7                  |
| 20               | 1.1                   | 113              | 13.8                  |
| 20               | 1.0                   | 133              | 14.8                  |



GRAFICA No. 1: Velocidad de infiltración

### 6.3 Avance del agua

De acuerdo a las pruebas efectuadas en el campo al momento de aplicar el riego, en donde se registró el avance del agua en cada uno de los tratamientos (pendiente y caudal) se obtuvo la siguiente tabla del avance promedio del agua en los surcos (cuadro No. 4).

**CUADRO No. 4**  
**RESULTADOS DEL AVANCE DEL AGUA EN LOS SURCOS**

| ESTACIONES | TIEMPO EN MINUTOS<br>PENDIENTES |      |      |        |      |      |        |      |      |
|------------|---------------------------------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
|            | 0.5o/o                          |      |      | 1.0o/o |      |      | 1.5o/o |      |      |
|            | Q lps                           |      |      | Q lps  |      |      | Q lps  |      |      |
|            | 5                               | 10   | 15   | 5      | 10   | 15   | 5      | 10   | 15   |
| 0+000      | 0                               | 0    | 0    | 0      | 0    | 0    | 0      | 0    | 0    |
| 0+020      | 2.9                             | 2.3  | 1.6  | 2.0    | 1.6  | 1.0  | 1.8    | 1.5  | 0.8  |
| 0+040      | 7.1                             | 4.8  | 3.7  | 5.1    | 3.8  | 2.4  | 4.0    | 3.0  | 1.9  |
| 0+060      | 11.9                            | 8.1  | 6.4  | 8.9    | 6.6  | 4.4  | 6.8    | 5.3  | 3.0  |
| 0+080      | 16.9                            | 12.1 | 10.0 | 13.0   | 9.7  | 6.6  | 10.9   | 8.0  | 4.3  |
| 0+100      | 21.9                            | 15.8 | 13.5 | 17.2   | 13.1 | 8.9  | 14.6   | 11.3 | 6.0  |
| 0+120      | 27.3                            | 20.2 | 16.8 | 22.0   | 17.0 | 11.7 | 18.8   | 14.7 | 7.8  |
| 0+140      | 33.7                            | 24.4 | 19.9 | 27.8   | 21.7 | 14.9 | 23.2   | 18.3 | 10.2 |
| 0+160      | 39.9                            | 30.2 | 23.7 | 34.3   | 27.2 | 18.9 | 28.7   | 22.1 | 12.7 |
| 0+180      | 48.1                            | 36.3 | 30.0 | 41.2   | 32.6 | 23.4 | 35.0   | 26.9 | 15.6 |
| 0+200      | 56.4                            | 43.0 | 35.6 | 48.7   | 39.0 | 28.2 | 41.7   | 32.1 | 18.9 |
| 0+220      | 65.7                            | 50.8 | 42.4 | 57.3   | 45.9 | 34.0 | 49.3   | 37.5 | 22.4 |
| 0+240      | 79.4                            | 62.1 | 50.9 | 68.6   | 54.5 | 40.8 | 57.6   | 43.8 | 26.2 |

Con estos datos obtenidos en el campo, se elaboraron las gráficas de avance del agua en los surcos con respecto al tiempo (gráficas Nos. 2, 3 y 4), en donde se muestran las curvas de longitud de avance para cada uno de los caudales y pendientes estudiados en el presente trabajo.

En dichas gráficas se puede observar, que en cuanto mayor fue el caudal aplicado a los surcos, mayor fue la velocidad de avance, y en cuanto mayor fue la pendiente, también el avance fue mayor.

Es así como para una pendiente del 0.50/o, el tiempo de avance del agua para el caudal de 5 lps y una distancia de 240 mts., fue de 79.4 minutos; para caudal de 10 lps fue de 62.1 minutos; y para caudal de 15 lps fue de 50.9 minutos.

Para pendiente de 1.00/o, el tiempo de avance del agua para el caudal de 5 lps y una distancia de 240 mts., fue de 68.6 minutos; para el caudal de 10 lps fue de 54.5 minutos; y para el caudal lps fue de 40.8 minutos.

Para pendiente de 1.50/o, el tiempo de avance del agua para el caudal de 5 lps y una distancia de 240 mts., fue de 57.6 minutos; para el caudal de 10 lps fue de 43.8 minutos; y para el caudal de 15 lps fue de 26.2 minutos.

#### 6.4 Profundidad de mojado

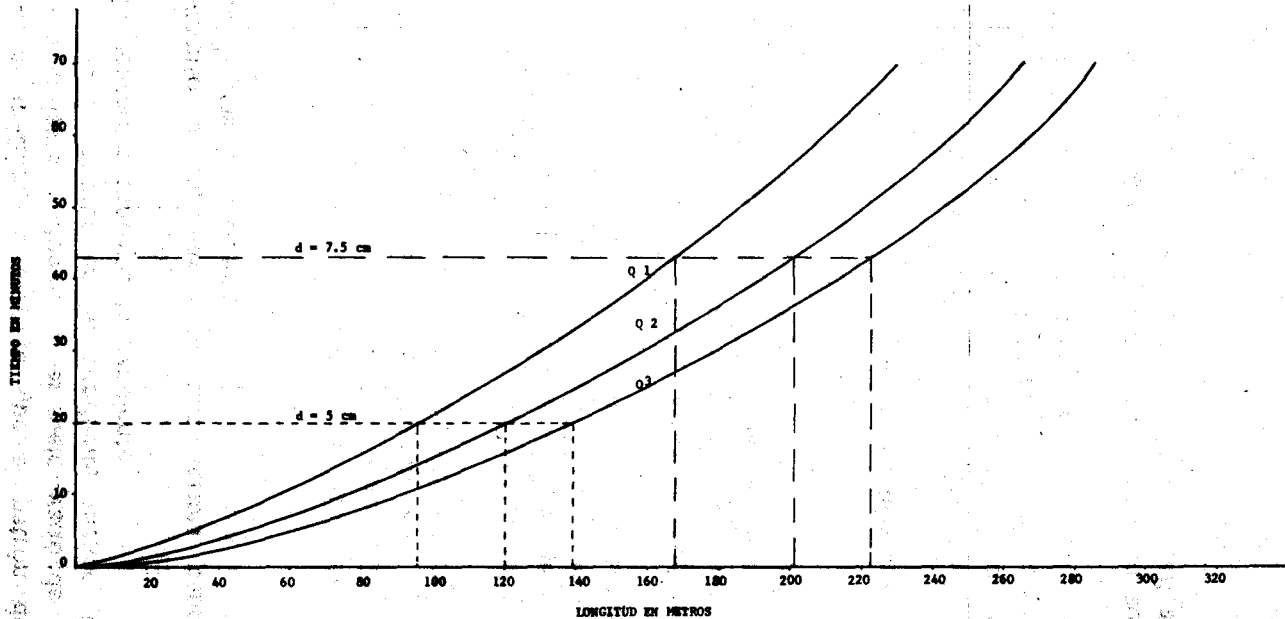
Para establecer la profundidad de mojado y sus variaciones dentro del perfil del suelo, se calculó la lámina de agua retenida en cm hasta una profundidad en el suelo de 90 cm., con estaciones a cada 60 mts., de longitud en el surco.

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro No. 5, los cuales fueron graficados para cada pendiente y caudal (gráficas

Nos., 5, 6 y 7).

En dichas gráficas, se muestra que el patrón de mojado con respecto a la lámina retenida en el suelo, varió de acuerdo a la pendiente, siendo mayor en la pendiente menor (0.50/o) y disminuyendo conforme aumentó la pendiente.

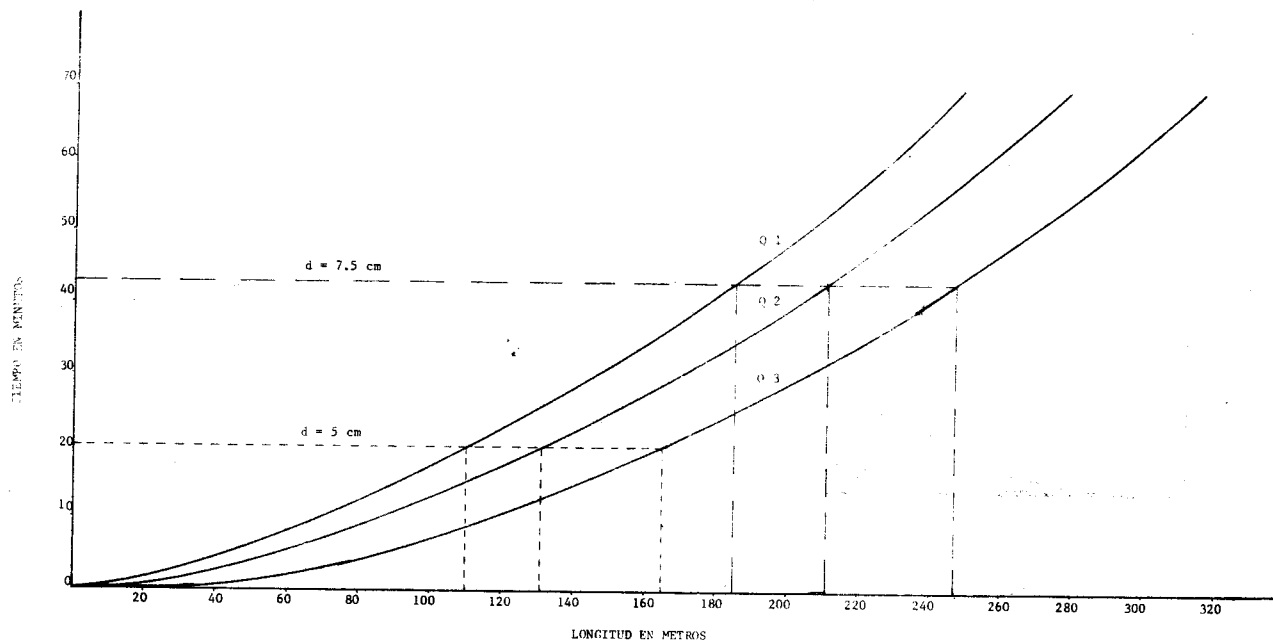
En cuanto a caudales para una misma pendiente, se comportó con la misma tendencia.



GRAFICA No. 2

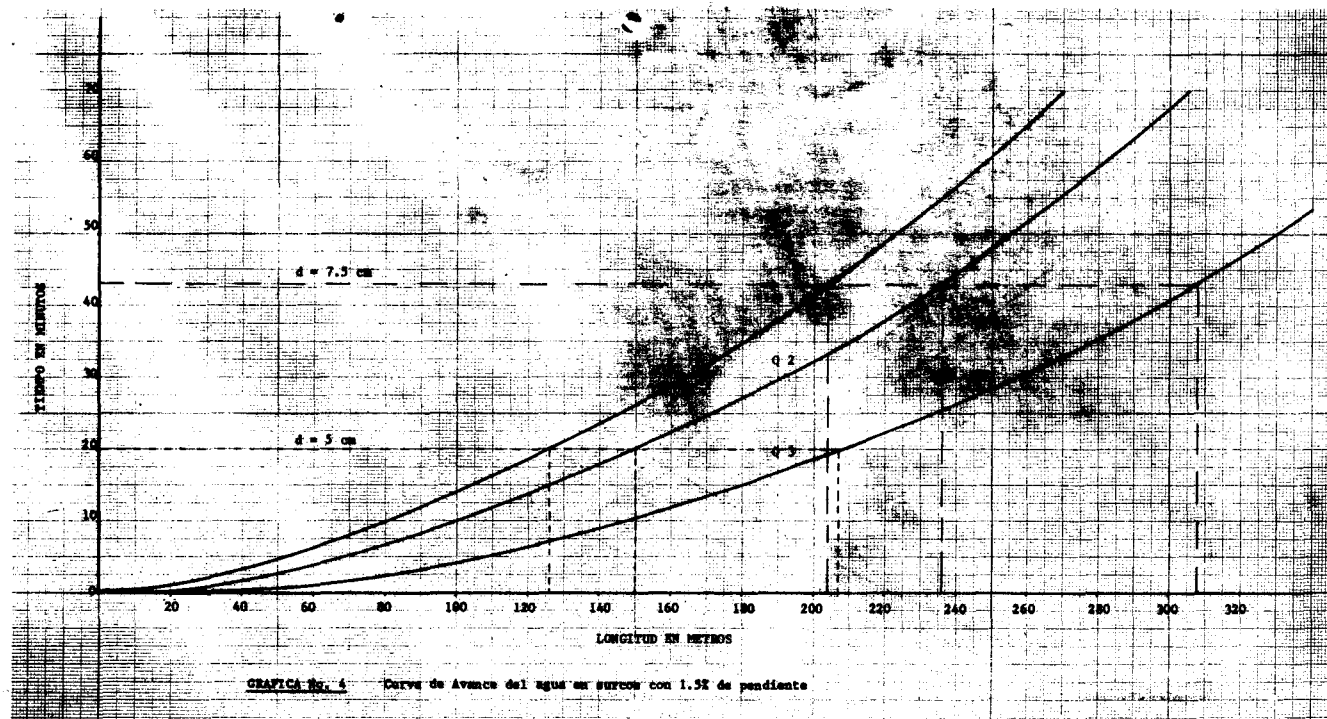
Curva de Avance del agua en surcos con 0.5% de pendiente

los cuales  
están en un  
centro



GRAFICA No. 3

Curva de Avance del agua en surcos con 1.0% de pendiente



# CUADRO No. 5

## LAMINA DE AGUA RETENIDA EN CENTIMETROS HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 0.90 METROS

| LAMINA DE AGUA EN CENTIMETROS |      |       |       |      |      |      |  |      |      |      |     |    |    |
|-------------------------------|------|-------|-------|------|------|------|--|------|------|------|-----|----|----|
| PENDIENTES                    |      |       |       |      |      |      |  |      |      |      |     |    |    |
|                               | Q    |       |       | lps  |      |      |  | Q    |      |      | lps |    |    |
|                               | 5    | 10    | 15    | 5    | 10   | 15   |  | 5    | 10   | 15   | 5   | 10 | 15 |
| 0+000                         | 8.83 | 10.66 | 12.33 | 6.21 | 7.72 | 9.56 |  | 4.55 | 6.40 | 7.61 |     |    |    |
| 0+060                         | 7.91 | 9.72  | 11.18 | 4.89 | 6.50 | 8.33 |  | 3.76 | 5.36 | 6.70 |     |    |    |
| 0+120                         | 6.97 | 8.58  | 9.75  | 3.78 | 5.26 | 7.14 |  | 2.87 | 4.41 | 5.82 |     |    |    |
| 0+180                         | 6.01 | 7.53  | 8.68  | 2.80 | 3.79 | 5.75 |  | 2.13 | 3.83 | 4.95 |     |    |    |
| 0+240                         | 4.96 | 6.45  | 7.46  | 1.67 | 2.45 | 4.52 |  | 1.36 | 2.44 | 4.12 |     |    |    |

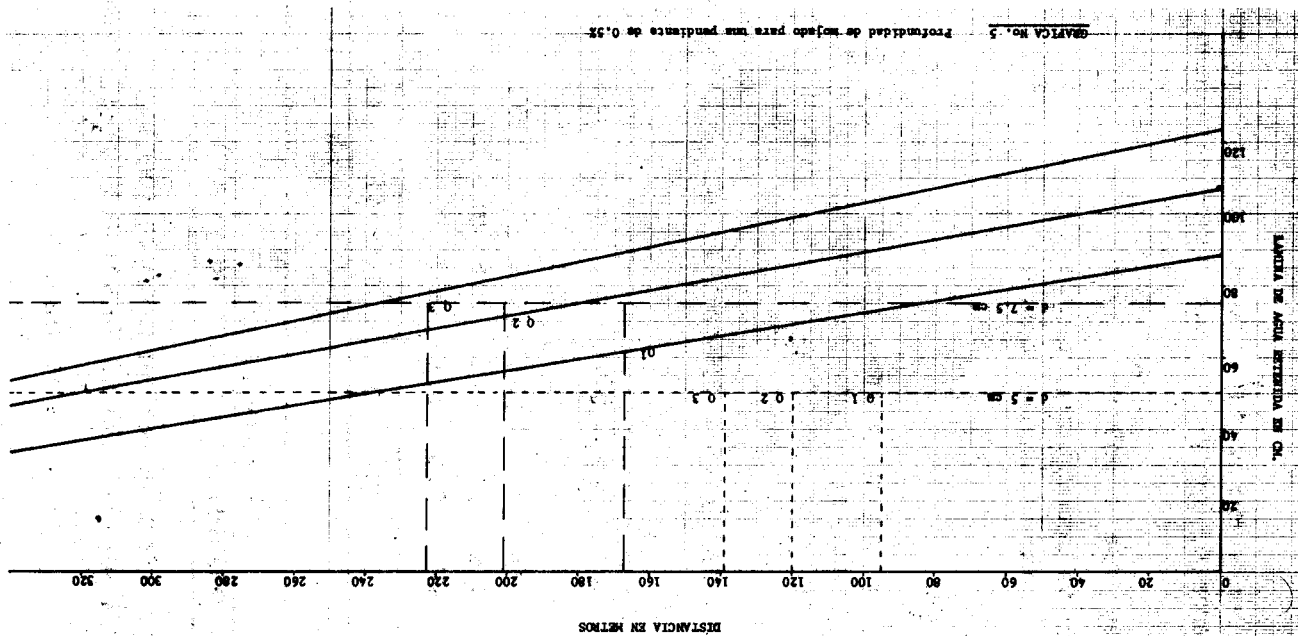
6.5 Longitud de surco de acuerdo a lámina de riego y curva de avance.

Para determinar la longitud adecuada de surco, se determinó el tiempo de riego necesario para aplicar láminas de riego de 5 y 7.5 cm., el cual está en función de la siguiente ecuación:

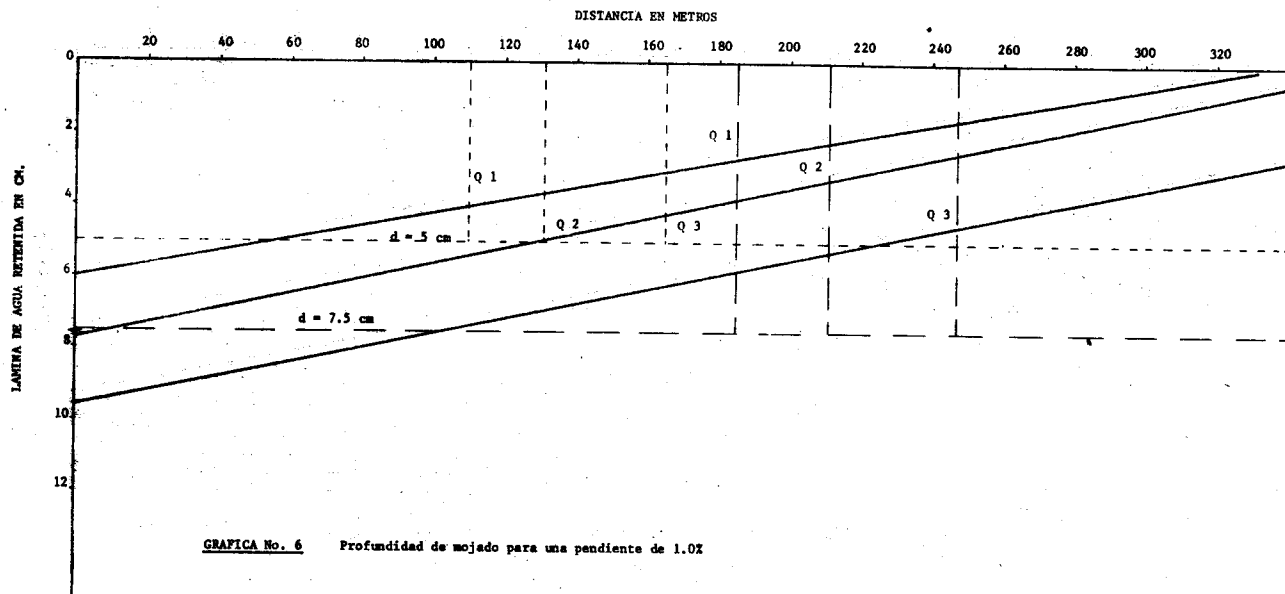
$$t_r = t_i + 1/5 t_i$$

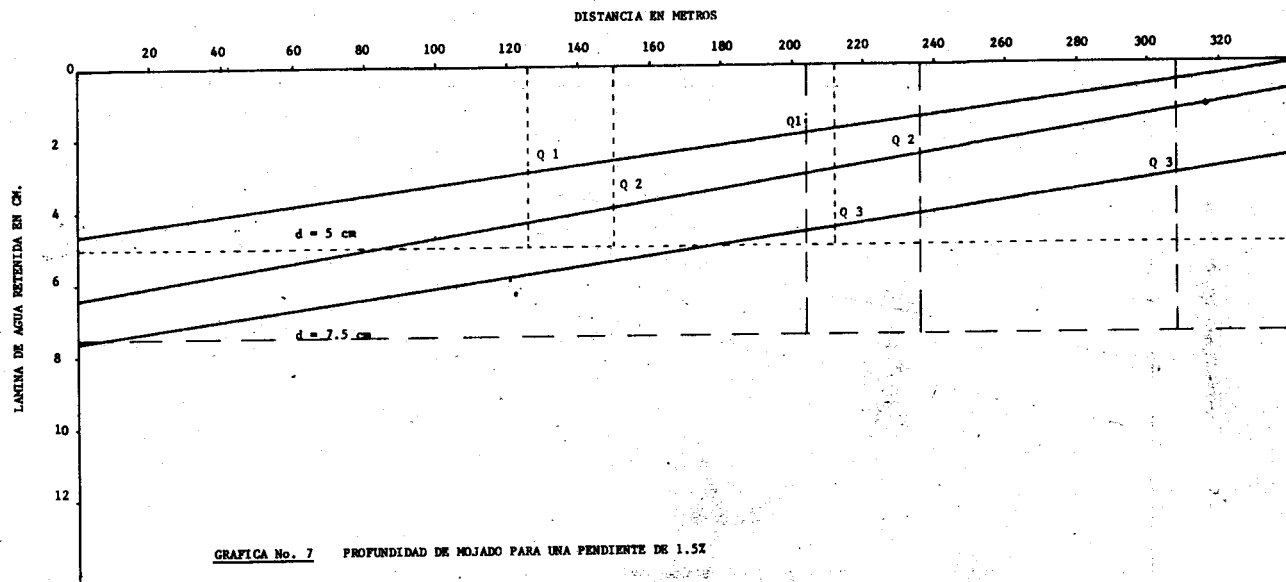
Donde:  $t_r$  = tiempo de riego en minutos  
 $t_i$  = tiempo de infiltración en minutos.  
 $1/5 t_i$  = tiempo en que el agua llega al final del surco.

El tiempo de infiltración, se calculó de acuerdo en la ecuación empírica determinada en la gráfica No. 1, inciso 6.2.



Profundidad de moldeo para una pendiente de 0.5%





$$d = k \times t^m$$

Despejando t:

$$t = m \sqrt{\frac{d}{K}}$$

Donde:

t = tiempo de infiltración en minutos.

d = lámina de agua en centímetros.

k = constante = 1.1

m = constante = 0.536

Los resultados obtenidos, fueron los siguientes (cuadro No.

6)

#### CUADRO No. 6

#### TIEMPO DE RIEGO PARA LAMINA DE AGUA DE 5 Y 7.5 CENTIMETROS

| d   | t <sub>i</sub> | 1/5 t <sub>i</sub> | t <sub>r</sub> |
|-----|----------------|--------------------|----------------|
| 5.0 | 16.85          | 3.37               | 20.22          |
| 7.5 | 35.92          | 7.18               | 43.10          |

Se seleccionaron las láminas de riego netas de 5 y 7.5 cm., por considerar que para riego por gravedad, son láminas fáciles y comunes de manejar y aplicar.

Con el tiempo de riego obtenido para cada una de las láminas, se buscó la intersección con las curvas de avance del agua (gráficas Nos., 2, 3 y 4), mediante el trazo de una línea horizontal, para encontrar la longitud de surco adecuada.

Los resultados se muestran en las mismas gráficas, y se resumen en el siguiente cuadro (cuadro No. 7)

**CUADRO No. 7**

**LONGITUD DE SURCO ADECUADA DE ACUERDO A  
PENDIENTE Y CAUDAL DE RIEGO.**

| PENDIENTE | CAUDAL<br>lps | LAMINA DE<br>RIEGO NETA<br>(5) | TIEMPO DE<br>RIEGO EN<br>minutos | LONGITUD<br>metros |
|-----------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 0.5       | 5             | 5                              | 20.22                            | 95                 |
|           |               | 7.5                            | 43.10                            | 163                |
|           | 10            | 5                              | 20.22                            | 120                |
|           |               | 7.5                            | 43.10                            | 201                |
|           | 15            | 5                              | 20.22                            | 139                |
|           |               | 7.5                            | 43.10                            | 222                |
| 1.0       | 5             | 5                              | 20.22                            | 110                |
|           |               | 7.5                            | 43.10                            | 185                |
|           | 10            | 5                              | 20.22                            | 121                |
|           |               | 7.5                            | 43.10                            | 211                |
|           | 15            | 5                              | 20.22                            | 165                |
|           |               | 7.5                            | 43.10                            | 247                |
| 1.5       | 5             | 5                              | 20.22                            | 126                |
|           |               | 7.5                            | 43.10                            | 204                |
|           | 10            | 5                              | 20.22                            | 150                |
|           |               | 7.5                            | 43.10                            | 236                |
|           | 15            | 5                              | 20.22                            | 207                |
|           |               | 7.5                            | 43.10                            | 308                |

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al estudio realizado, sobre pruebas de riego en surco en el Valle de la Fragua, se pueden enunciar las siguientes conclusiones valederas para el tipo de suelo, cuyas características son predominantes en los suelos del área, y que se especifican en los incisos 6.1 y 6.2 del capítulo de resultados y discusión. Dichas conclusiones son las siguientes:

- 1o. En base a los caudales utilizados en el presente trabajo, de 5, 10 y 15 lps, el avance del agua en el surco para una misma pendiente, se incrementa conforme se incrementó el caudal para la misma pendiente.
- 2o. Con respecto a la variación de pendiente (0.5, 1.0 y 1.5o/o) para un mismo caudal, se incrementó también el avance conforme se incrementó la pendiente.
- 3o. El patrón de mojado del perfil del suelo, con respecto a la lámina retenida después de efectuado el riego, varió de acuerdo a la pendiente, en todos los casos, siendo mayor la lámina retenida en la pendiente menor (0.5o/o) y disminuyendo conforme ésta aumentó.
- 4o. Considerando la aplicación de una lámina de riego neta de 5 cm., y de acuerdo a la velocidad de infiltración medida en los suelos estudiados, se determinó que el tiempo de riego por surcos más adecuado era de 20 minutos.
- 5o. Asimismo, considerando la aplicación de una lámina de riego neta de 7.5 cm., y de acuerdo a la velocidad de infiltración, se determinó un tiempo de riego de 43 minutos.
- 6o. Las láminas de riego netas de 5 y 7.5 cm., fueron seleccionadas para determinar la longitud de riego,

considerando que son fáciles de manejar y aplicar, en un riego por gravedad.

- 7o. De acuerdo a la pendiente del surco, al caudal, a la lámina de riego neta y al tiempo de riego por surco, se determinó la longitud adecuada en metros para cada tratamiento, las cuales se presenta en el Cuadro No. 7.

En base a las conclusiones anteriores y al patrón de mojado obtenido en el perfil del suelo, se recomienda lo siguiente, para distribuir las pérdidas de agua por percolación:

- 1o. Para surcos con pendientes de 0.50/o, aplicar láminas de 7.5 cm., con una longitud de surco de 201 metros y un caudal de 10 lps.
- 2o. Para surcos con pendientes de 1.00/o, aplicar láminas de 5 cm., con una longitud de surco de 121 metros y caudal de 10 lps; o la aplicación de una lámina de 7.5 cm., con una longitud de surco de 247 metros y caudal de 15 lps.
- 3o. Para surcos con pendientes de 1.50/o, aplicar láminas de 5 cm., con una longitud 150 metros y caudal de 10 lps; o la misma lámina con una longitud de surco de 207 metros y caudal de 15 lps., por surco.
- 4o. Finalmente, para la aplicación de los diferentes caudales de riego por surco, en suelos donde exista variación de textura superficial, es necesario evaluar en forma práctica en el campo, los posibles daños por erosión del surco, que pueda ocasionar el agua de riego, para adoptar las longitudes y láminas adecuadas.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- 1) AVERYNANOV. El drenaje horizontal en la lucha contra la salinización de las tierras de riego, por: Trad. Por: Palacios Vélez Oscar. Chapingo, México, Escuela Nacional de Agricultura. 1956.
- 2) COLECCION INGENIERIA DE SUELOS No. 1. Relación entre Suelos Planta-Agua. 2a. Ed. Editorial Diana, México, 1973. 20p.
- 3) COLECCION INGENIERIA DE SUELOS No. 2. Planeamiento de sistemas de riego para granjas. 2a. ed. Editorial Diana, México 1973. 63 p.
- 4) CRIDDLE, W. y otros. Methods for evaluating irrigation systems. Agricultural Handbook No. 82, soil conservation. Washington D.C. Service USDA Departament of Agricultural, 1956.
- 5) GUAJARDO, G.A. Métodos de riego. Chapingo México. Escuela Nacional de Agricultura. 1971. 114 p. (Tesis Ing. Agr.)
- 6) GONZALEZ, F.G. Efecto de la pendiente y gasto de aplicación en el diseño de riego por surcos en dos suelos de la región lagunera. Chapingo, México. Escuela Nacional de Agricultura 1969. 5 p. (Tesis Ing. Agr.).
- 7) GUNDERSEN, W. Curso de riegos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 1974. 94 p.
- 8) POIREE, M. y OLLIER, Ch. Saneamiento Agrícola. Trad. por: Arteaga P. Rosario. Barcelona, España, Editores Técnicos Asociados, S.A. 1966 71 p.

- 9) VLADIMIRESCU, I. Formules rationnelles por le calculo  
hydraulique des longs sillons d'irrigation. Tokyo. Fifth  
Congress on Irrigation and Drainage. 1963.

Vo.B.

PALMIRA R. DE QUAN

**HIRAM RODERICO PEREZ SINGER**

**Vo. Bo. Ing. Agr. Oscar González H.  
ASESOR**

**IMPRIMASE: Ing. Agr. Rodolfo Estrada González  
DECANO EN FUNCIONES.**