

D. L.
21
T(510)
C. 3.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

DIAGNOSTICO SOBRE LA APLICACION DEL AGUA DE
RIEGO EN LA UNIDAD EL RANCHO - JICARO

TESIS

PRESENTADA A LA

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

DE LA

FACULTAD DE AGRONOMIA

DE LA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

MARIO RICARDO ARAGON RIVAS

En el acto de su investidura como

INGENIERO AGRONOMO

En el grado académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, enero de 1984

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. EDUARDO MEYER S.

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

| | |
|-------------|-----------------------------|
| Decano: | Ing. Agr. César Castañeda |
| Vocal 1°: | Ing. Agr. Oscar R. Leiva |
| Vocal 2°: | Ing. Agr. Gustavo Méndez |
| Vocal 3°: | Ing. Agr. Rolando Lara A. |
| Vocal 4°: | Prof. Heber Arana |
| Vocal 5°: | Prof. Leonel Gómez |
| Secretario: | Ing. Agr. Rodolfo Albizures |

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|-----------------------------|
| Decano: | Dr. Antonio A. Sandoval S. |
| Examinador: | Ing. Agr. Negli Gallardo |
| Examinador: | Ing. Agr. Carlos Spiegeler |
| Examinador: | Ing. Agr. César Cisneros A. |
| Secretario: | Ing. Agr. Carlos Fernández |



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

| |
|------------------|
| Referencia |
| Asunto |
| |

19 de Enero de 1984.

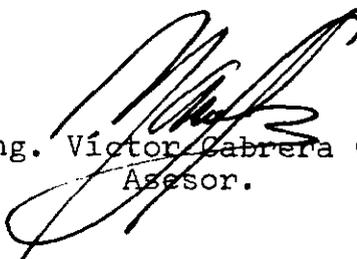
Ingeniero:
César Castañeda,
Decano de la
Facultad de Agronomía.

Señor Decano:

Atentamente me dirijo a usted, para informarle que de acuerdo a la designación emanada de esa Decanatura, he procedido a revisar y asesorar el trabajo de tesis titulado: "Diagnóstico sobre la aplicación del agua de riego en El Rancho-Jícaro", realizado por el estudiante Mario Aragón Rivas, como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Sobre el particular me permito informarle que encuentro el trabajo satisfactorio y llena los requisitos académicos para ser aprobado como tesis de grado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Víctor Cabrera Cruz.
Asesor.

Ing.VCC:bsc.

Guatemala,
20 de enero de 1984

Honorable Junta Directiva de la
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorable Junta Directiva:

Por medio de la presente me permito someter a vuestra
consideración el trabajo de tesis titulado:

"DIAGNOSTICO DE LA APLICACION DEL AGUA DE RIEGO EN LA
UNIDAD EL RANCHO-JIRACO," proyecto que fuera aprobado
por la Decanatura de la Facultad.

La presente tesis cumple con el último requisito de la
Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos,
para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo,
en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Atentamente,



Mario R. Aragón Rivas
Carnet 41207

ACTO QUE DEDICO

A DIOS TODOPODEROSO

A MIS PADRES: Antonio Aragón
Antonia Rivas de Aragón

A MI ESPOSA: Claudia Bustamante de Aragón

A MIS HIJAS: Ana Carolina y
María de los Angeles

A MIS HERMANOS: Carlos Enrique, María del
Carmen, Lucy y Antonio
(in memoriam)

A MI FAMILIA POLITICA: Familia Bustamante Lara

TESIS QUE DEDICO

A GUATEMALA

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

AL MINISTERIO DE AGRICULTURA

A LA UNIDAD DE RIEGO EL RANCHO-JICARO

AGRADECIMIENTO

Quiero hacer patente mi agradecimiento a las personas que en una u otra forma colaboraron en la elaboración del presente trabajo:

Dr. Felix Keller Mejía

Ing. Agr. Oscar González

Ing. Agr. Lucio Tobar

Lic. Oscar A. Campos B.

Ing. César Reyes M.

A mi asesor: Ing. Agr. Victor Cabrera Cruz

Así mismo a las siguientes instituciones que me proporcionaron su apoyo:

Unidad Sectorial de Planificación Agropecuaria
y de Alimentación

Administración de la Unidad de Riego El Rancho-
Jícara

DIAGNOSTICO SOBRE LA APLICACION DEL AGUA DE RIEGO EN LA
UNIDAD EL RANCHO-JICARO

RESUMEN

En el presente trabajo se establecieron las características principales de los hábitos de riego en los usuarios de la Unidad El Rancho-Jícaro. Además se definió una metodología práctica, sencilla y poco costosa para evaluar el riego superficial por surcos. Estos objetivos fueron planteados dado que existen grandes deficiencias en la mayoría de las unidades de riego del país, las cuales se ven reflejadas en los bajos rendimientos obtenidos, en comparación con lo que podría esperarse de la agricultura bajo riego.

La hipótesis fue planteada sobre la base de que los usuarios de la unidad cuentan con bajos niveles de eficiencia en cuanto a la aplicación del agua a sus campos de cultivo.

La metodología tuvo dos enfoques básicos:

El cuantitativo, consistente en mediciones en el campo para la definición de perfiles de humedecimiento y volúmenes de sobre-lámina, y el levantamiento de una encuesta en los usuarios de riego, para determinar su experiencia y capacitación en esa actividad.

El cualitativo, que consistió en visitas periódicas de observación de la infraestructura de riego y de la eficiencia técnico-administrativa de la unidad.

Dada la imposibilidad de evaluar a la totalidad de usuarios del riego en la unidad, se efectuó un muestreo y selección aleatoria.

El procedimiento de medición en el campo fue el siguiente: se determinaron las curvas de infiltración para cada suelo en particular, para lo cual se seleccionó el modelo Kostyakov y se utilizó en cilindro infiltrómetro simple. Se construyeron las curvas de avance y recesión para cada riego en particular y se establecieron los requerimientos netos de agua, para un solo riego (el evaluado) y para el ciclo completo (evapotranspiración método Blaney-Criddle). Finalmente se midió el volumen total de agua aplicado en el riego evaluado.

Con el anterior procedimiento se construyeron los perfiles típicos de humedecimiento y se determinó la sobre-lámina aplicada en cada caso. Como resultados se obtuvieron la eficiencia de aplicación, la uniformidad de distribución del riego y el exceso de agua perdida por percolación profunda.

El levantamiento de la encuesta estuvo orientado a cuatro áreas principales: experiencia en riego, preparación del terreno para riego, manejo del riego y asistencia técnica en riego.

Con la boleta descrita se conocieron los hábitos de riego y sus orígenes, y hasta qué punto la asistencia técnica (si la había) les condicionaba sus prácticas de riego.

Con base en los resultados generados por la metodología descrita se obtuvieron las siguientes conclusiones principales:

- a) Los agricultores emplean mucha más agua de la que realmente necesitan para sus cultivos (la sobre-irrigación promedio fue de 338%).

- b) Existe gran desorden en el manejo del agua a todo nivel en la unidad, lo que se evidencia en la falta de calendarios de uso técnicamente preparados y "recetas" de riego.
- c) Los agricultores, a pesar de tener bastante tiempo de practicar el riego, no presentan experiencia práctica y técnica en su manejo.
- d) La infraestructura de la unidad está pobremente utilizada (laboratorios) y en muchos casos se presentan errores de diseño y operación (derivación, desarenador).
- e) La asistencia técnica en riego es escasa o inexistente y muy poco eficaz.

Como recomendaciones se estima que es conveniente el estudio y establecimiento de un sistema tarifario que haga conciencia en el agricultor del alto valor del agua en esa región. Deberían formularse planes y "recetas" de riego, técnicamente elaboradas, para asistir eficiente y oportunamente al agricultor. Dado que la programación del riego está íntimamente ligado con algunas variables climatológicas principales, es recomendable que éstas sean medidas y registradas, por lo que sería necesario adquirir equipo de medición apropiado. Finalmente se recomienda involucrar a los líderes locales para mejorar las actividades de la unidad en general, resaltando el compromiso de los usuarios para con la misma.

INDICE

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. ANTECEDENTES Y DEFINICION DEL PROBLEMA | 2 |
| III. OBJETIVOS | 5 |
| IV. HIPOTESIS | 5 |
| V. REVISION BIBLIOGRAFICA | |
| A. Características de la Unidad de Riego El Rancho-Jícara | 5 |
| B. Antecedentes en el Manejo del Riego | 8 |
| C. Manejo del Riego | 9 |
| D. Sistema de Riego | 10 |
| E. Requerimientos de Riego | 26 |
| F. Infiltración | 36 |
| VI. METODOLOGIA | |
| VII. RESULTADOS Y DISCUSION | |
| A. Descripción General de la Metodo- logía de Riego empleado por los Usuarios | 55 |
| B. Resultados Cuantitativos | 56 |
| C. Resultados Cualitativos | 58 |
| VIII. CONCLUSIONES | 63 |
| IX. RECOMENDACIONES | 66 |
| X. REFERENCIAS | 69 |
| ANEXOS | |
| BOLETA DE ENCUESTA | |
| MAPA DE LA UNIDAD | |
| CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS Y RIEGOS ANALIZADOS | |

I. INTRODUCCION

La mayoría de autores coinciden en aseverar que la producción agrícola depende de seis factores principales: agua, suelo, clima, cultivo, insumos y manejo, todos interdependientes y capaces de convertirse en limitantes en un momento determinado.

En países como Guatemala, donde gran parte de su economía depende de la actividad agrícola y donde, además una buena porción del área bajo este tipo de explotación sufre de prolongados períodos secos, el agua se convierte en el factor limitante más importante. La única oportunidad de estas áreas de no restringirse a una agricultura de subsistencia o a la ganadería con pobres resultados, es el RIEGO. El agua de riego racionalmente utilizada puede convertir a un área pobre y poco fértil en un área productiva mejorando sensiblemente las condiciones socio-económicas de sus pobladores; área en la cual el agua de riego "racionalmente utilizada" se traduce en un índice aceptable de eficiencia en su aplicación.

El desperdicio del agua por mal manejo (baja eficiencia), puede llegar a ser desastroso, aunque momentáneamente parezca no revestir de importancia; la elevación del nivel freático y los consecuentes problemas de drenaje y/o salinidad, la escasez de agua al final de los canales de conducción y distribución, los desfases entre el área de diseño y el área efectivamente regada, son algunas de las posibles consecuencias ulteriores del manejo irracional del recurso.

En las unidades de riego que financia el Gobierno de Guatemala, en las que se invierten cientos de miles y hasta millones de quetzales para hacer llegar el agua a lo largo de un período aceptable durante el año a un grupo o grupos de parcelas, representa un fracaso y un desperdicio de recursos, si los usuarios malgastan varias veces la cantidad de agua

que racional y técnicamente deberían usar, con el agravante de obtener rendimientos por hectárea que difícilmente llegan a reflejar la existencia de riego y a justificar las grandes inversiones efectuadas.

Hasta ahora el Gobierno ha dedicado pocos esfuerzos para que los agricultores aprendan a manejar el agua en la finca, por lo que se desconocen las características de su uso por parte de los mismos. El conocimiento de estas características permitirá el planteamiento de medidas correctivas en cuanto a la asistencia técnica que se presta al agricultor, o bien, en caso de que actualmente no se preste este tipo de asistencia, se podrá establecer un esquema general de asistencia en riego que dé relevancia a los requerimientos específicos de tecnología establecidos previamente en un diagnóstico del uso del agua.

II. ANTECEDENTES Y DEFINICION DEL PROBLEMA

Las unidades de riego en Guatemala obtienen actualmente rendimientos sensiblemente bajos, considerando que se han realizado grandes inversiones para su implementación. Observando el cuadro uno, se puede apreciar este hecho. Los valores de comparación son tomados por FAO como rendimientos aceptables; sin embargo, arrojan en su mayoría diferencias excesivamente grandes con respecto a los datos de las unidades de riego.

Muchos son los factores que podrían establecer estas diferencias, contándose entre ellos al manejo, en el cual se incluye la tecnología de aplicación de agua. Aunque los otros factores son sumamente importantes, el manejo del agua cuenta con una característica muy peculiar, ya que cuando un usuario está manejando mal el recurso, sí puede influenciar otras parcelas del área, situación que no se presenta en el resto de los factores. La elevación del nivel freático de las fincas

Cuadro Nº1. Comparación de los rendimientos medios de las unidades de riego de Guatemala, de La Unidad de Riego El Rancho-Jicaro, con los rendimientos medios en la agricultura bajo riego. (año 1981)

| Cultivo | Media total de las Unidades de Riego, tn/Ha | Media de la Unidad de Riego El Rancho-Jicaro, tn/Ha | Rendimientos medios, tn/Ha |
|---------|---|---|----------------------------|
| Maíz | 2 | 3 | 6 - 8 |
| Frijol | 1 | 1.2 | 1.5 - 2.5 |
| Tomate | 10 | 5 | 44.0 - 64.0 |
| Cebolla | 10 | 7 | 34.0 - 45.0 |
| Sandía | 9.5 | 6 | 25.0 - 35.0 |
| Chile | 6 | 6 | 15.0 - 20.0 |
| Tabaco | 2 | 2.4 | 2 - 3 |

FUENTE: Boletín Estadístico DIRENARE y Estudio FAO: Riego y drenaje, Boletín No. 33, Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos.

vecinas por excesos de aplicación, o bien, la escasez de agua al final de los canales de conducción por el gasto exagerado de algunos parcelarios, serían ejemplo de estas influencias.

La situación anterior podría evidenciar falta de asistencia técnica al usuario, así como un conocimiento bastante limitado de sus errores en la aplicación del agua. Se deduce, entonces, la necesidad de determinar bajo qué condiciones y con qué principios y técnicas el usuario aplica el agua, determinando a la vez en qué medida es atendido o adiestrado en esa actividad.

A este respecto, Bishop (1974), argumenta que "Las entidades responsables de la distribución de agua, no se ajustan por completo a los deseos de los agricultores o a los requerimientos de los cultivos. Los ingenieros encargados de los sistemas de canales tienen la tendencia a sentirse libres de toda responsabilidad si distribuyen equitativamente el agua en las fincas. Por lo tanto, la frecuencia de la distribución y la cantidad de agua pueden tener muy poca relación con las necesidades reales de los cultivos." Y continúa definiendo el "manejo moderno del agua en la finca" como "una combinación compleja de arte y ciencia que requiere la aplicación de todos nuestros conocimientos sobre agua, suelos, clima y cultivos y sus interacciones, junto con los insumos de nutrientes, pesticidas, capital, energía y manejo de la producción agrícola." Esta definición presenta al regador como un agricultor técnicamente preparado para aplicar el agua en la forma más adecuada, asociada al resto de los insumos indispensables para la producción. La anterior situación implica necesariamente la existencia de un mecanismo completo de extensión y asistencia técnica en las unidades de riego, contando con la elaboración previa de un diagnóstico de la situación actual del usuario. El objetivo primordial del presente trabajo es

el de elaborar ese diagnóstico en cuanto a la metodología de aplicación del agua se refiere y tratar de entender los principales problemas que se le presentan al campesino en esta actividad.

Para la elaboración de este trabajo se seleccionó la Unidad de Riego El Rancho-Jícaro, debido a que cuenta con regadores con cierta experiencia en el manejo del agua, de manera que se pueda establecer hasta qué punto sus conocimientos prácticos se adaptan a una metodología de riego basada en los conceptos teóricos y técnicos de la Ciencia del Riego. También se tomó en cuenta que el 100% de los usuarios riegan utilizando el método superficial por surcos, con el objeto de uniformizar el análisis evaluando únicamente este sistema, que es el que se emplea en casi la totalidad de las unidades de riego en Guatemala.

III. OBJETIVOS

Objetivo General

Contribuir al mejoramiento en el uso y manejo del agua en la unidad de Riego El Rancho-Jícaro.

Objetivos Específicos

1. Cuantificar las eficiencias de aplicación de agua por el método de riego superficial por surcos.

2. Determinar las causas de la deficiente aplicación del agua de riego.

3. Proponer posibles soluciones para el mejoramiento de las eficiencias de aplicación.

IV. HIPOTESIS

Los usuarios de la Unidad de Riego El Rancho-Jícaro, cuentan con bajos niveles de eficiencia en cuanto a la aplicación del agua a sus campos de cultivo.

V. REVISION BIBLIOGRAFICA

A. Características de la Unidad de Riego El Rancho-Jícaro:

1. UBICACION:

La unidad de Riego El Rancho-Jícaro, cuyo sistema fue construido en el período 1969-1970, inició sus operaciones en el año de 1971. Se encuentra ubicada en los municipios de San Agustín Acasaguastlán y El Jícaro del Departamento de El Progreso, el área se extiende sobre las vegas de la margen derecho del Río Motagua, aguas abajo, entre la aldea de El Rancho y el Río El Tambor. Está limitada al norte por el Río Motagua, al sur por un área montañosa, al poniente por la Aldea El Rancho y al oriente por la aldea Lo de China.

Geográficamente corresponde aproximadamente a la intersección de las siguientes coordenadas: 14°56' latitud norte 89°51' longitud oeste.

2. CLIMA:

El área de la unidad de riego se caracteriza por el predominio de un clima cálido seco. Los elementos que definen el clima local pueden resumirse en los siguientes:

Altitud: las tierras objeto de riego se encuentran a una altitud de 260 metros sobre el nivel del mar.

Orografía: en un sentido general, la zona forma parte del Valle de la Fragua, el cual está rodeado por montañas de tal forma que condicionan la pluviosidad, como se menciona más adelante.

Lluvias: la precipitación pluvial es escasa y mal distribuida, como resultado de la influencia (efecto de sombra) que ejercen las condiciones orográficas, ya que los vientos provenientes del mar Caribe, conducen las nubes a las partes montañosas donde se produce la precipitación (evitando que llueva del otro lado de la montaña). La distribución de las lluvias durante el año permite distinguir dos temporadas: la época cálida y seca y la temporada lluviosa que se presenta con una precipitación pluvial media de 700 milímetros.

Temperatura: las temperaturas medias en el área son del orden de 27°C.

Humedad relativa: la humedad relativa promedio es de 64%.

Vientos: los dominantes en el área provienen del mar Caribe y llegan a través del cañón del Río Motagua a velocidades que no sobrepasan los 5 metros por segundo.

3. TOPOGRAFIA:

Es ligeramente ondulada y tiene un declive de 1-3% hacia el Río Motagua.

Las condiciones climáticas del área favorecen a la explotación agrícola, contando únicamente con la limitante del agua, recurso que ahora se les proporciona a través de la Unidad de Riego. Los estudios de suelos y topografía también han arrojado características bastante aceptables para el desarrollo apropiado de cultivos de explotación intensiva.

4. SUPERFICIE CULTIVABLE:

De la superficie cultivable, 529.8 hectáreas que representa el 57.8% del área diseñada, es cultivada mediante servicios de regadío, haciéndose la salvedad que 104.7 hectáreas no son atendidas directamente por la Unidad de Riego, sino que se irrigan a través de sistemas de bombeo operados a título individual por los propios agricultores del canal principal.

Acorde con lo anterior, la superficie que siendo susceptible de explotación y que no es cultivada, constituye el 32.1% del área cultivable y el 27.3% del área total (*). Este desaprovechamiento del recurso suelo en época seca es atribuible a una serie de factores, entre los que figuran fundamentalmente los que se refieren a la deficiencia de las obras de infraestructura de riego, canales y/o deficiencia en el manejo del recurso agua a nivel de la operación del

(*) Datos del año 1980.

sistema de riego a nivel parcelario, así como la decisión de los agricultores de dejar tierras en descanso (sin utilizar).

B. Antecedentes en el Manejo del Riego:

M. G. Bos y J. Nugteren (1974), al referirse a las eficiencias en el riego, exponen:

El riego es un arte que se ha practicado durante siglos. Al manejar cuidadosamente el caudal de agua disponible y observar los rendimientos resultantes, los agricultores han llegado a establecer gradualmente ciertas normas de operación. Estas normas solamente tenían una significación regional y a veces tan sólo local. Estaban encaminadas a obtener, sea una producción máxima de los cultivos bajo condiciones dadas, sea una utilización aceptable de mano de obra. Con frecuencia, las normas aplicadas tendían a lograr en mayor o menor grado ambos objetivos. Al irse poniendo en riego más y más tierras, se copiaron simplemente muchas de estas normas empíricas, aún cuando las condiciones físicas y sociales de las regiones recién desarrolladas fueran notablemente distintas de las correspondientes a los sistemas ya existentes, donde se había comprobado su utilidad. Como resultado de esto, el efecto del riego sobre los rendimientos de los cultivos o la mano de obra requerida para el riego, pueden diferir notablemente de un área a otra. Aún en el caso de que se conozcan bien estas diferencias en las condiciones físicas y sociales, los diseñadores de los nuevos proyectos pueden seguir enfrentándose al problema de no presentar un plan mejor, por carecer de normas objetivas.

Los aspectos de la operación del riego, a nivel de agricultor, y de los sistemas de abastecimiento del agua, en las áreas que están dominadas todavía principalmente por la tradición, no suelen reflejar como objetivo primordial un alto grado

de eficiencia en el uso del agua. Esta eficiencia, expresada como la relación entre la cantidad de agua de riego utilizada de un modo efectivo por las plantas cultivadas y la cantidad total de agua suministrada, sólo se ha considerado como factor importante en la operación de riego, durante los últimos 10 ó 15 años. Esto no es sorprendente en realidad, si se tienen en cuenta que hace 25 años nuestros conocimientos sobre las necesidades de agua de los cultivos y más especialmente sobre la evapotranspiración eran más bien vagos y las investigaciones sobre los recursos hidráulicos de las áreas bajo riego no recibían todavía tanta atención como la que se les presta en la actualidad.

En las regiones donde el riego es un elemento básico para la producción agrícola y el agua suele ser un factor limitante, es muy necesario hacer un uso más económico de los recursos hidráulicos y adoptar un enfoque más científico del problema de la operación de los sistemas de riego. Este enfoque más científico no supone necesariamente el uso de métodos muy avanzados o costosos. Es bastante desalentador que no se usen para el establecimiento de los calendarios de riego, ni siquiera pruebas sencillas y poco costosas.

C. Manejo del Riego (Bishop, 1974)

En los lugares en que el agua de riego se encuentra disponible es factible lograr una utilización óptima de todos los insumos de la producción agrícola, siempre y cuando el agua sea un factor manejable. En la figura 1, se ilustra el sistema hidráulico para la aplicación del riego.

La mayor parte del abastecimiento de agua en este sistema es obtenido de almacenamientos superficiales y subterráneos que se han creado y están sujetos a sistemas de control. La precipitación proporciona una cantidad pequeña, pero a veces

importante, de agua. En algunos casos una parte sustancial del abastecimiento utilizable proviene de fuentes subterráneas situadas fuera de los límites de la finca conducidas por movimiento lateral a través de acuíferos libres o también a través de deformaciones acuíferas de movimiento ascendente (artesianas). La estrategia para el manejo del agua consiste en asignar la mayor parte del abastecimiento a la transpiración a través de las plantas y mantener los volúmenes de excesos lo más pequeños posible sin detrimento de la calidad específica del agua y de los requerimientos de la finca.

Como se ilustra en la figura 1 y para la mayor parte de los sistemas, no toda el agua que llega a la finca se aplica a los terrenos. Parte se filtra o se evapora del sistema de abastecimiento a la finca. En el caso de los sistemas de acequias usadas intermitentemente, el agua requerida para llenar el sistema puede que se evapore antes de que la acequia zanja se llene de nuevo.

El escurrimiento superficial del área cultivable y la percolación del agua a la formación acuífera constituyen las pérdidas principales de la finca. Estas pérdidas pueden disminuirse por medio de un sistema adecuadamente diseñado, por la selección de parámetros correctos de riego y por un buen manejo. Por ejemplo, la irrigación con bombeo del flujo de retorno o la nivelación exacta del terreno puede eliminar prácticamente el escurrimiento y la selección adecuada de la "relación entre el tamaño del cauce y la longitud de su curso" puede reducir un buen número de pérdidas por percolación. Sólo recientemente se ha aceptado como una necesidad los requerimientos de lavado o lixiviación, en muchos casos se le descuida y se considera como una pérdida que pasa como parte de la percolación a la superficie freática.

D. Sistema de Riego:

Existen diversas formas de aplicar el agua al terreno

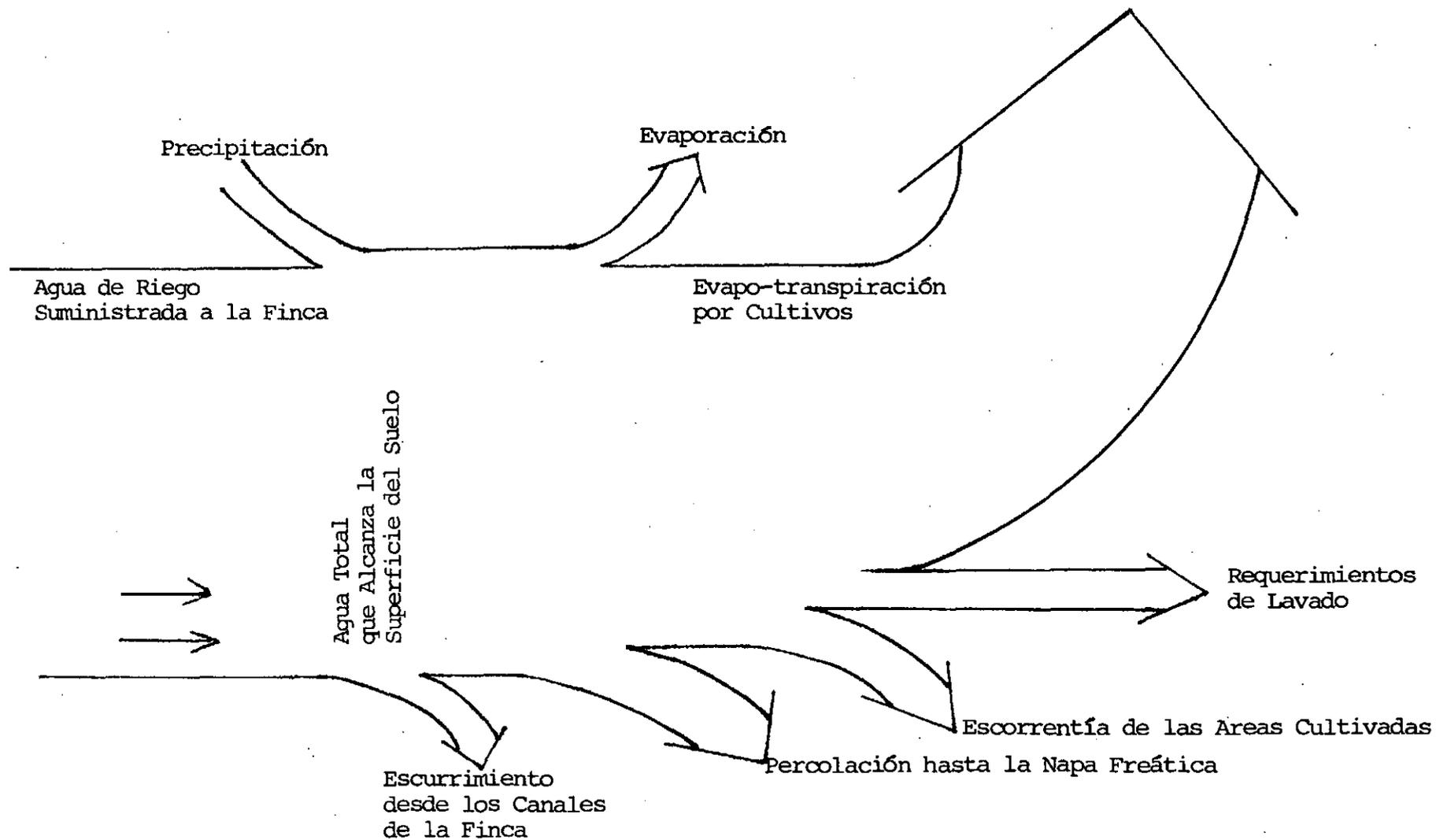


Figura 1. Sistema Hidrológico de las Tierras Irrigadas

con fines de irrigación. En la Unidad de Riego El Rancho-Jícaro (y en la mayoría de las unidades de riego de Guatemala), la totalidad de las parcelas aplican el agua en forma superficial por surcos. Debido a lo cual, se exponen a continuación las principales características de este sistema.

1. Ubicación:

El riego por surcos como método de aplicación de agua está ampliamente difundido, particularmente en los países en desarrollo. El riego por surcos, como sistema, está ubicado dentro de los métodos superficiales, que humedecen parte del terreno; siendo definido como: la operación de aplicación y encauzamiento del agua a lo largo de canales pequeños de poca pendiente o sobre corrugaciones labradas en la superficie del terreno.

2. Características (Israelsen y Hansen, 1975)

2.1 Generalidades

El riego por surcos únicamente humedece parte del terreno (de la mitad a la quinta parte). Puesto que solamente se cubre una parte de la superficie con la lámina de agua, las pérdidas por evaporación son menores que con otros métodos y la aereación de las raíces del cultivo es mejor.

En suelos compactos o arcillosos, la aplicación de agua en esta manera asegura que no se formen costras que impidan el crecimiento de las plantas; permite, además, el cultivo del suelo poco tiempo después de regar.

2.2 Longitud de los Surcos

En suelos en los que los surcos tienen pendientes del 10 al 15%, se utilizan éstos con éxito permitiendo entrar en ellos sólo pequeños caudales y vigilando atentamente la erosión que se produce. Las pendientes de 0.5 al 3% son las mejores, aunque algunos tipos de suelos se riegan satisfactoriamente con pendientes en los surcos del 3 al 6%.

Las longitudes más frecuentes de los surcos están comprendidas entre 90 y 150 m. Al emplear surcos demasiado largos se producen pérdidas excesivas por percolación profunda y erosión en sus cabeceras. No obstante, la reducción de pérdidas de superficie útil por causa de las acequias y la facilidad de movimiento de la maquinaria son puntos a favor del empleo de surcos largos.

2.3 Separación y Profundidad de los Surcos

La separación de los surcos para los cultivos en hilera, viene determinada por la distancia entre plantas dentro de cada hilera. A cada hilera se le hace corresponder un surco. En el riego de huertos, los surcos pueden distanciarse de 0.9 a 1.8 m., mientras que los suelos de excepcionalmente buenas condiciones capilares o de subsuelos impermeables admiten distancias de hasta 3.0 ó 3.6 m. entre surcos. En los espaciamientos grandes es esencial investigar, después de cada riego, la distribución del agua, haciendo sondeos con barrena, o con un tubo para ver si el movimiento lateral del agua por debajo de los lomos entre cada dos surcos es o no adecuada.

Los surcos de 20 a 30 cm. de profundidad facilitan en control del agua y la penetración, en los suelos de

poca permeabilidad. Se adaptan bien al riego de huertos y de algunos cultivos alineados. Otros cultivos en hileras, como la remolacha azucarera, se riegan en surcos de 7 a 13 cms. de profundidad. Hay que procurar, en el riego de la remolacha azucarera y cultivos de raíces parecidas, que la profundidad de los surcos y los caudales en cada uno sean suficientes, pero no excesivas, para que el agua no llegue a entrar en contacto con la planta.

2.4 Distribución del Agua a los Surcos

El agua se conduce hasta los surcos desde los regueros de abastecimiento, de tierra, o desde canales de madera u hormigón o bien desde conducciones subterráneas de cemento. A lo largo de los taludes se practican pequeñas aberturas y el agua fluye por ellas al interior de uno o varios surcos. Este método exige una revisión cuidadosa para evitar la erosión de los orificios de salida de las acequias de tierra y el exceso subsiguiente de agua que se vierte por ellos. Por otra parte, da una cierta flexibilidad de maniobra permitiendo primero la entrada de un gran caudal en cada surco al dar paso al agua, empapándose así rápidamente en toda su longitud, y disminuyendo después dicho caudal de tal forma que sólo entre el agua necesaria para mantenerlo húmedo, al mismo tiempo que reduce al mínimo el escurrimiento en su extremo inferior.

El empleo de tuberías acodadas de pequeño diámetro, de 1.2 m. de longitud, fabricadas de plástico ligero, aluminio, hierro galvanizado o goma, permite el regante sifonear agua desde la acequia a los surcos, conservando intactos los taludes de la misma. Este método goza de una mayor flexibilidad y permite el acceso fácil y frecuente del agua de un surco a otro.

2.5 L. Salazar (1981), define los siguientes
Criterios para Diseño y Operación:

Los factores básicos que tienen papel importante en el diseño y operación de riego superficial son:

- 1) Caudal
- 2) Velocidad de avance del agua sobre la superficie
- 3) Longitud que debe recorrer el agua en la parcela
- 4) Espesor de la lámina por aplicar
- 5) Pendiente de la superficie en el recorrido del flujo
- 6) Uniformidad del terreno
- 7) Erosionabilidad del terreno
- 8) Forma de distribución del agua desde las acequias al terreno cultivado
- 9) Geometría de surcos, melgas, pozas, terrazas, etc. y geometría y tamaño de parcela y uniformidad en estas características dentro de la parcela.
- 10) Velocidad de infiltración del agua en la parcela y uniformidad de estas características dentro de la misma.

El mejor aprovechamiento del agua de riego requiere que se diseñe y maneje el sistema de riego con los siguientes criterios. El sistema de:

1) Almacenar el agua necesaria en la zona radicular del terreno. La cantidad de agua necesaria de almacenar depende principalmente de la capacidad del suelo para retener el agua aprovechable por la planta y de la profundidad radicular de ésta.

2) Conseguir una aplicación relativamente uniforme del agua. Esto requiere que el tiempo que permanece el agua

en distintas partes de la finca o surco no varía mucho. Generalmente la variación en tiempo no debe ser más del 25% del tiempo máximo.

3) Minimizar la erosión. Aunque la erosión no puede ser totalmente eliminada, se deber hacer ésta lo mínimo posible. Después de diseñar y operar el sistema de acuerdo a criterios generales, la observación del sistema en el campo indicará si los caudales, pendientes, etc. se deben cambiar.

4) Minimizar la escorrentía. Uno de los métodos más eficaces de reducir estas pérdidas en surcos es reducir al caudal cuando ha llegado o está por llegar el agua al final del surco. Esta minimización no es tan importante cuando el agua de escorrentía se puede utilizar en otros terrenos con sistemas de reutilización del agua.

5) Minimizar agua de percolación con excepción de si ésta es necesaria para el lavado de sales.

6) Minimizar la superficie de terreno ocupado por acequias, caminos y otros componentes del sistema de riego.

7) Minimizar la cantidad de mano de obra necesaria para la operación y mantenimiento del sistema y facilitar el manejo de los componentes de la infraestructura.

8) Adaptar a la geometría y dimensiones de la finca. Cuando los factores físicos, sociales y legales permiten, se pueden combinar parcelas, eliminar linderos y manejar el sistema para obtener mayores eficiencias.

9) Adaptar el sistema a los suelos, topografía, cultivos y otros factores físicos que determinan el mejor diseño. En parcelas con mucha variación de factores físicos dentro de ellas se puede ajustar el diseño y manejo a las distintas características.

10) Facilitar el uso de maquinaria agrícola en la preparación de tierra, sembrado, cultivado y recolección de productos agrícolas.

2.6 Evaluación del Sistema:

Merriam, Keller y Alfaro (1973), proponen la siguiente metodología para la evaluación del sistema:

2.6.1 Consideraciones generales:

En la evaluación de un sistema de riego por surcos, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones iniciales:

a) ¿Está el suelo lo suficientemente seco para comenzar el riego? La demora o retención en la entrega del agua al terreno por demasiado tiempo puede producir un efecto detrimento de tensión de humedad en el cultivo. Por otro lado, si se riega con demasiada frecuencia, se incrementan los costos de labor, se incrementa el nivel freático en el terreno y éste a su vez podría generar ambientes ideales para la propagación de plagas y enfermedades.

b) ¿Está el suelo lo suficientemente húmedo para poder cortar el riego? En otras palabras, ¿Se ha infiltrado la adecuada pero no excesiva lámina de agua sobre el terreno? ¿Se ha distribuido lateralmente la humedad del suelo con la suficiente amplitud?

c) ¿Ha sido el agua uniformemente distribuída a lo largo del surco? Generalmente se logra una excelente uniformidad, si la descarga aplicada alcanza la parte final del surco, sin producir erosión, en el tiempo correspondiente a un cuarto o a un tercio del tiempo de riego. La mitad del tiempo de riego es frecuentemente económica.

d) ¿Existe demasiada escorrentía final (de cola)? Una pequeña cantidad de agua que se estanque o que escurra por el extremo final del surco es muy común en las operaciones prácticas. El agua de escorrentía de cola puede rescatarse usando un sistema de reutilización o recirculación.

e) ¿Es el abastecimiento de agua y el sistema capaz de una entrega de agua para el uso eficiente y conveniente de tanto agua como labor? El abastecimiento debería ser lo suficientemente grande y flexible tanto en la descarga como en la duración. Los gastos en los surcos deberían ser adecuadamente grandes para obtener un avance rápido y además controlado de tal forma que se pueda regular, ya sea reduciéndolo o cortándolo completamente cuando sea conveniente, como es el caso cuando el déficit de humedad en el suelo quede satisfecho. La descarga en el surco debe ser adecuada para que el regador pueda manejar el abastecimiento, debería ser lo suficientemente grande también, como para mantenerlo ocupado y lograr una labor económica.

2.6.2 Nomenclatura y parámetros de análisis

Los siguientes términos son usados para describir el estado de humedad de los suelos o las características de retención de humedad del suelo. Antes, debemos admitir que las definiciones presentadas aquí son descripciones simplificadas de la actual condición física. Las referidas simplificaciones son necesarias para el uso práctico de los conceptos.

El término "humedad del suelo" (contenido) es asumido ser sinónimo con el de "agua de suelo". Las unidades de humedad del suelo pueden ser expresadas ya sea como porcentaje del peso del suelo seco, porcentaje del volumen del suelo o equivalente espesor o altura (lámina) de agua por equivalente espesor o profundidad del suelo bajo dicha

lámina de agua. Generalmente la altura o espesor de lámina de agua por profundidad o espesor de suelo es la más conveniente medida para la evaluación y manejo del riego.

a) Capacidad de campo (CC)

Es la humedad remanente en el suelo después que un riego ha empadado y drenado naturalmente del suelo y hasta que el drenaje libre (gravitacional) prácticamente ha cesado. El tiempo requerido para la cesación del drenaje libre varía con la textura y estructura del suelo y la relativa velocidad del uso del agua por los cultivos. El glosario de términos en Ciencias del Suelo de la Sociedad Americana de las Ciencias del Suelo (SSSA), Madison, Wisconsin, febrero 1975, sugiere que la Capacidad de Campo es "el porcentaje de agua remanente en el suelo dos o tres días después que el suelo ha sido saturado y después de que el drenaje libre prácticamente ha cesado" (agua retenida a $1/3$ de atmósfera) o menos de tensión.

b) Marchitez permanente (Punto de Marchitez Permanente-PMP)

Es el contenido de humedad en el suelo después de que la planta ha agotado la posibilidad de extraer humedad a una suficiente velocidad como para que sus hojas marchitas se recuperen en el transcurso de una noche o cuando estas sean colocadas en un ambiente saturado de humedad (agua retenida a 15 atmósferas o más de tensión).

c) Capacidad disponible de humedad del suelo (humedad aprovechable-HA)

Es la cantidad de humedad que puede ser retenida en la zona de las raíces entre capacidad de campo y el de marchitez permanente.

d) Humedad disponible en el suelo

Es la diferencia en cualquier momento entre el contenido real de humedad y el punto de marchitez permanente del suelo en la zona de raíces (debido a que después de este punto, la tensión a la que está retenida la humedad es tan alta que la planta es incapaz de absorberla, por lo que no es disponible; igualmente cuando el agua se encuentra antes de la capacidad de campo, pues la fuerza gravitacional es mayor que la capacidad de absorción de la planta).

e) Déficit de humedad del suelo (DFH)

Es la diferencia en cualquier momento entre la capacidad de campo y el valor real de humedad en el suelo en la zona de raíces. Esta es la cantidad de agua requerida para llevar la zona de raíces del suelo a capacidad de campo.

f) Déficit permitido de manejo (DFPM)

Es el déficit deseado de contenido de humedad en el suelo en el momento del riego. El déficit permitido de manejo es expresado como un porcentaje de la humedad aprovechable o como el correspondiente déficit de humedad (DFH). Este término está relacionado con el nivel de agotamiento de humedad deseado para el sistema planta-suelo-agua-clima. El riego usualmente se programa cuando el déficit permitido de manejo iguala al déficit real de humedad, i.e., cuando DFH es igual a DFPM. En el riego de zonas áridas generalmente se debe reemplazar parcialmente el déficit total de humedad, en otras palabras, se deja una cierta capacidad de almacenamiento en la zona de raíces para la probable lluvia.

2.6.3 Eficiencias del Sistema

Las siguientes terminologías sobre eficiencias son valiosas en la evaluación de la efectividad potencial o real o ambas de la aplicación de agua de riego por un sistema determinado. Las definiciones son generalmente expresadas en profundidades o alturas (lámina) equivalente de agua libre

(volúmenes por unidad de área) excepto para los sistemas de cobertura parcial tales como aspersión, goteo y subterráneo en donde los volúmenes de agua pueden ser medidas más apropiadas. Para sistemas de aspersión y de goteo que operan sin escorrentía, la profundidad de agua infiltrada es asumida igual a la altura de lámina de agua aplicada a la superficie del suelo.

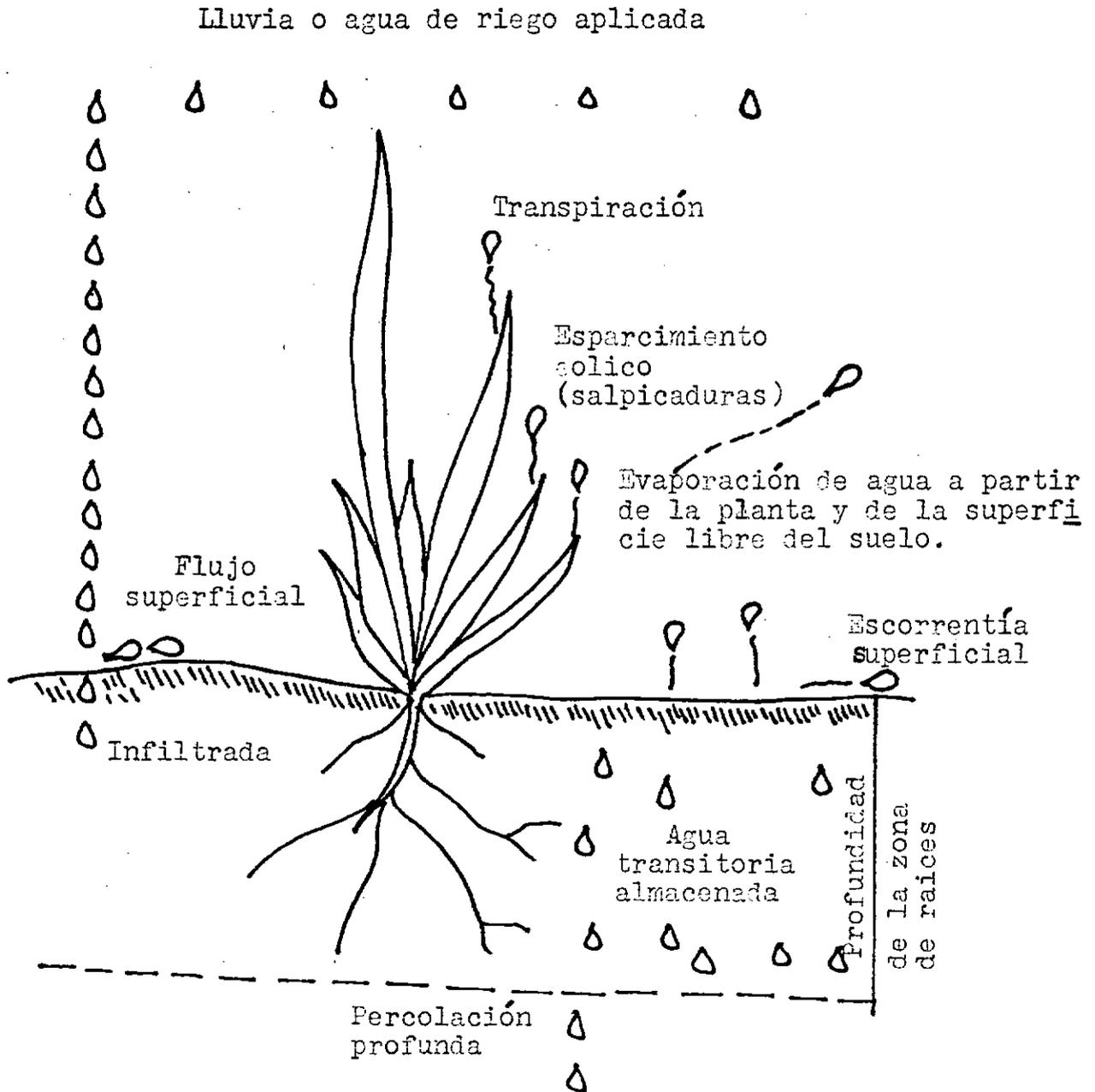
Una descripción gráfica del sistema suelo-agua-planta se muestra en la Figura No. 2. El agua infiltrada, la evaporación de la planta, de las superficies libres de agua, el salpiqueo por efecto del viento y el escurrimiento deben ser igual a la altura de lámina (o volumen) de agua aplicada para satisfacer el principio de conservación de masa. Por lo tanto, la suma del agua almacenada y el agua en movimiento, la percolación profunda, transpiración y evaporación de la superficie del suelo deben ser igual a la altura de lámina (o volumen) infiltrada.

Alguna parte del agua en movimiento en la zona de raíces puede ser transpirada por el cultivo antes de que se pierda por percolación profunda. Por lo general, es necesario un cierto porcentaje de percolación profunda para mantener un balance satisfactorio de sales, ya que la evaporación y transpiración son la única otra manera de remover agua de la zona de raíces. La transpiración y la evaporación están interrelacionadas y depende de las condiciones atmosféricas, planta y humedad del suelo.

a) Eficiencia de Riego (ER)

Es la relación entre la profundidad (o altura) de láminas promedio de agua de riego usada en forma beneficiosa y la profundidad (o altura) de lámina promedio aplicada para el riego.

FIGURA 2.- ESQUEMA DEL BALANCE DE MASA EN EL SISTEMA AGUA-SUELO-PLANTA



$$ER = \frac{LPU}{LPA}$$

LPU = Lámina promedio útil

LPA = Lámina promedio aplicada

La eficiencia de riego (ER) es un término general, muy útil para describir la efectividad del riego en un simple campo, particularmente cuando el agua es usada para finalidades provechosas más que para satisfacer el déficit de humedad, como es el caso cuando se le usa para el lavado de sales, protección de heladas, enfriamiento de cultivos y aplicación de pesticidas y fertilizantes; o cuando es utilizada en campos donde se toma en cuenta el beneficio del reuso de la escorrentía y otros flujos de retorno.

b) Eficiencia de aplicación (Ea)

Es la relación entre la profundidad de lámina promedio de agua almacenada en la zona de raíces (agua necesaria para mantener la humedad del suelo requerida por el cultivo) y la lámina promedio de agua de riego aplicada (agua proporcionada al campo).

$$Ea = \frac{LPZR}{LPA}$$

LPZR = Lámina promedio aplicada a la zona radicular

La eficiencia de aplicación no proporciona indicación sobre lo adecuado del riego o sobre la uniformidad del mismo aún cuando exagerada sobre-irrigación puede igual o exceder el 100%. Esta simplemente muestra la fracción aplicada que ha almacenado la zona de raíces y que es potencialmente accesible para la evapotranspiración.

2.6.4 Uniformidad de distribución

a) Distribución del agua de riego

La siguiente terminología de distribución en el campo para el riego son útiles para evaluar la habilidad de un sistema de riego en aplicar el agua uniforme. Como se ha venido haciendo anteriormente, las definiciones son expresadas como equivalente espesor de agua libre (altura de lámina de agua).

b) Uniformidad de distribución (UD)

Es la relación entre la lámina de riego promedio infiltrada del cuarto inferior y la lámina de riego promedio infiltrada. La lámina promedio infiltrada del cuarto inferior es el valor promedio medido o estimado del cuarto más bajo (alejado) escogido entre los valores, los cuales representan un área igual del campo (cuatro cuartos).

$$UD = \frac{LPCI}{LPI} \quad (3)$$

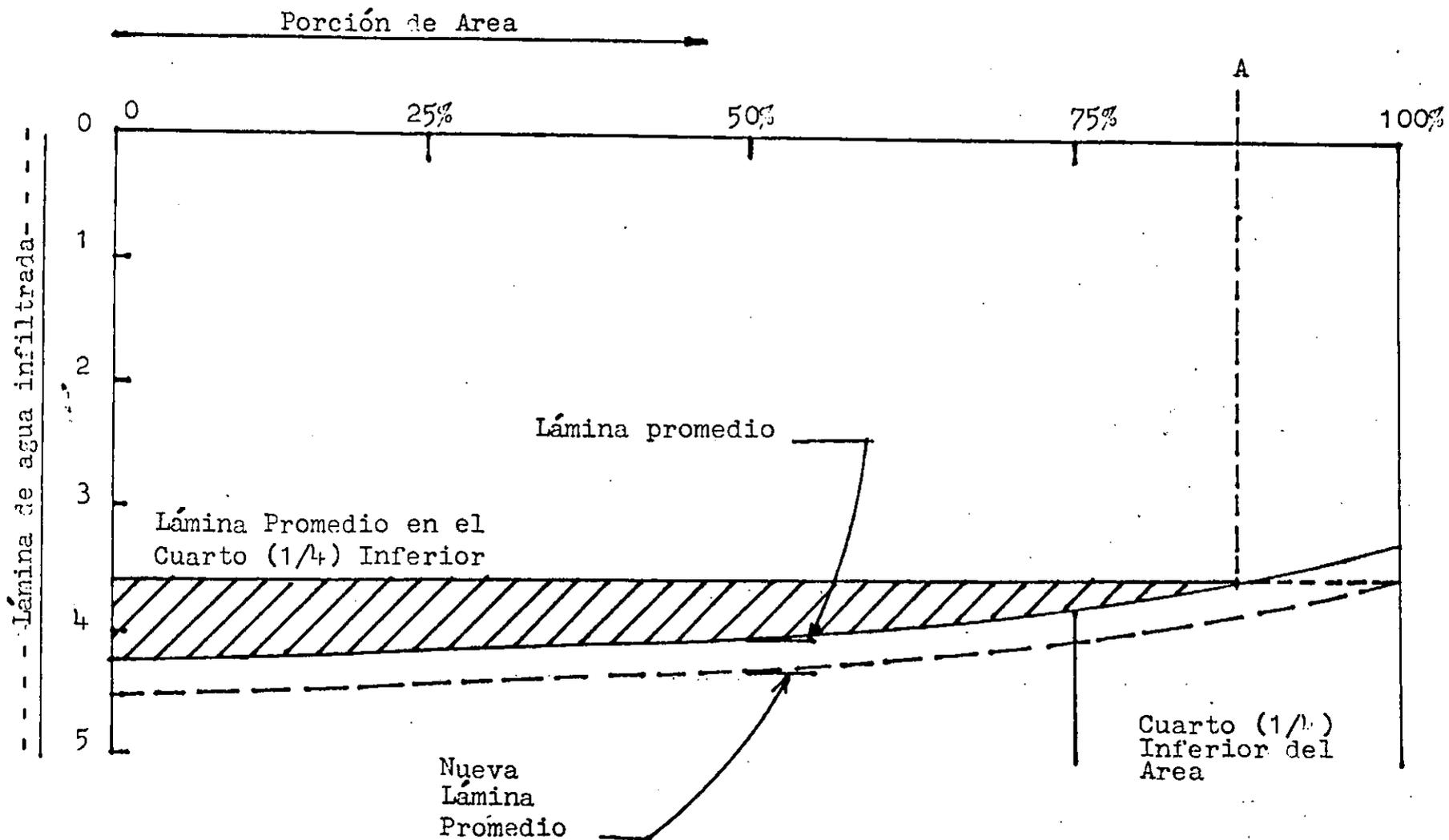
LPCI = Lámina promedio de agua infiltrada del cuarto inferior.

LPI = Lámina promedio de agua infiltrada.

La uniformidad de distribución (UD) es un útil indicador de los problemas de distribución. Un bajo valor de UD indica que ocurrirán excesivas pérdidas por percolación profunda si se abastece del riego adecuado a toda el área.

La Figura No. 3 muestra un perfil de distribución de agua generada por un riego superficial asumido. En él se aprecia la relación entre la lámina de agua infiltrada y la porción real del campo que recibe esa lámina. La línea

FIGURA 3.- DISTRIBUCION DEL AGUA INFILTRADA A LO LARGO DEL SURCO PARA UNA LAMINA PROMEDIO DE 4.0 y 4.25 UNIDADES DE AGUA INFILTRADA. (Perfil Típico de Humedecimiento -PTH)



curva continua indica la distribución de agua para un promedio de 4.0 unidades (lámina) de agua infiltrada. La profundidad promedio (lámina promedio) en el cuarto inferior es de 3.6 unidades. La uniformidad de distribución en este ejemplo es de 0.90.

Si un déficit de humedad en el campo justo en el momento previo al riego es igual a 3.6 unidades, entonces el área del campo localizada a la derecha del punto A en el perfil será subirrigada mientras que el área sombreada a la izquierda del punto A representa las pérdidas por percolación profunda.

El riego adecuado de toda el área del campo requeriría de una lámina promedio de aplicación de 4.25 unidades.

En el riego superficial las fallas de uniformidad en la infiltración resultan generalmente de la combinación de diferencias en el "Tiempo de oportunidad para la infiltración" y variación en la "Infiltración característica" a través del campo. Además, la velocidad de infiltración decrece con el tiempo. Por lo tanto, la lámina de aplicación en la zona menos humedecida puede ser aumentada sin un incremento porcentual similar en todo el resto de las áreas.

La economía en el diseño de sistemas de riego generalmente indica que menos del 100% del área será adecuadamente regada.

En el caso de que la lámina promedio del cuarto inferior es igual a la lámina de aplicación deseada, aproximadamente 10% del área de un campo regado quedará subirrigado. En donde la lámina promedio de la mitad inferior sea igual a la lámina de aplicación deseada aproximadamente el 20% del área total quedará subirrigada. Incremento significativo en la percolación profunda ocurre como consecuencia del incremento en el área que recibe adecuado riego.

2.6.5. Aforo

Para la determinación de la cantidad de agua que se está aplicando a un surco, se puede utilizar diversas técnicas. Una de ellas es el empleo de vertederos, cuya construcción es sencilla y poco costosa.

Uno de los vertederos más empleados es el vertedero en V o triangular, cuyos principios se exponen a continuación (Streeter, 1963):

Para caudales pequeños es conveniente utilizar para aforos el vertedero en forma de V (triangular). Despreciando la contracción de la lámina, el caudal teórico (Fig. 4), puede calcularse como sigue:

La velocidad a la profundidad y es

$$v = (2gy)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

y el caudal teórico

$$Q_t = \int v \, dA = \int_0^H v x \, dy \quad (5)$$

Por triángulos semejantes, x puede expresarse relacionado con y ,

$$x/(H-y) = L/H \quad (6)$$

Sustituyendo v y x en función de y ,

$$Q_t = (2g)^{\frac{1}{2}} L/H \int_0^H y^{\frac{1}{2}} (H-y) \, dy \quad (7)$$

$$= 4/15 (2g)^{\frac{1}{2}} L/H H^{5/2} \quad (8)$$

Expresando L/H en función del ángulo de la V

$$\frac{L}{2H} = \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \quad (9)$$

Por consiguiente,

$$Q_t = \frac{8}{15} (2g)^{\frac{1}{2}} \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} H^{5/2} \quad (10)$$

El exponente de H es aproximadamente correcto, pero el coeficiente debe reducirse un 40%. Una fórmula aproximada cuando el ángulo es de 90° es

$$Q_t = 1.38 H^{5/2} \quad (11)$$

en la cual Q está en metros cúbicos por segundo y H en metros.

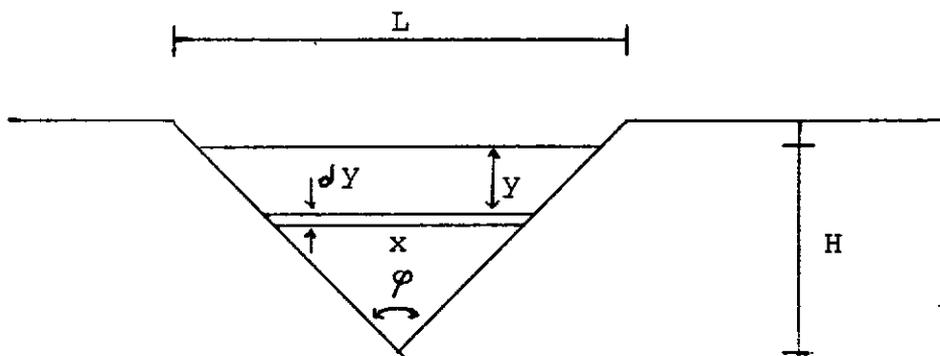


FIGURA 4. Vertedero en V.

E. Requerimientos de Riego:

Uno de los factores más importantes en la planificación del riego es la evapotranspiración o uso consuntivo, debido a que éste reúne las influencias tanto del clima como del cultivo mismo.

Existen muchas formas para determinar el valor de la evapotranspiración en un área, entre las cuales tenemos:

- Método PENMAN
- Método de Thornthwaite
- Método de Lowry-Johnson
- Método de Jensen-Haise
- Método de Blaney y Criddle
- Método del Tanque Tipo A
- Método Hargreaves
- Método Christiansen, y otros

Se empleará en este caso el Método Blaney y Criddle debido a que se adapta a climas similares al predominante en la unidad de riego bajo estudio y además por que su ecuación requiere datos que se encuentran disponibles para la unidad investigada (estación Morazán).

El Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América analiza el fenómeno de la evapotranspiración y el método Blaney y Criddle de la siguiente forma:

1. Definición de Términos:

Uso consuntivo: frecuentemente llamado evapo-transpiración, es la cantidad de agua usada en el crecimiento de los vegetales de un área: en la transpiración y formación de tejidos vegetales así como la evaporada del suelo adyacente

o del follaje donde ha sido interceptada de la precipitación; todo ésto en un tiempo determinado. Si la unidad de tiempo es corta, el uso consuntivo se puede expresar como pulgadas, centímetros o milímetros, si la unidad de tiempo es mayor, como un ciclo de cultivo o un periodo de 12 meses, puede ser expresado como pies o metros.

Requerimiento consuntivo es la cantidad de agua potencialmente requerida para cubrir el gasto de la evapotranspiración de un área cultivada cuando no existe limitación en cuanto a la dotación de agua.

Precipitación efectiva: es la precipitación caída durante el período de crecimiento del cultivo y que está disponible para satisfacer parte del uso consuntivo del mismo. Esta no incluye pérdidas por percolación profunda ni por escorrentía superficial.

Requerimiento de riego: es la lámina de riego, menos la precipitación efectiva, almacenada en el suelo requerida por el cultivo para satisfacer su uso consuntivo.

Requerimiento total neto de riego: es la lámina, menos la precipitación efectiva, almacenada en el suelo, requerida por el cultivo para satisfacer su uso consuntivo, más la requerida por el agricultor para fines de manejo, tales como: lavado de sales, protección contra heladas y otras, i.e., la cantidad total de agua requerida por el cultivo y manejo, sin considerar la eficiencias del sistema.

2. Influencia de algunos factores en el uso del agua:

Muchos factores actuando independientemente o en conjunto influyen en la cantidad de agua de riego consumida por las plantas. Sus efectos no son necesariamente constantes, pueden diferir conforme el lugar y fluctuar en diferentes épocas del año. Las influencias más importantes son las climáticas, el abastecimiento de agua y las características del crecimiento de las plantas.

a) Precipitación: tanto la cantidad como la distribución de la precipitación afectarán la lámina de agua de riego requerida para satisfacer el uso consuntivo durante cualquier estación del año. Bajo ciertas condiciones, la precipitación puede ser una serie de frecuentes y ligeras lloviznas durante un verano cálido.

Aunque las lloviznas pueden adicionar poco o nada a la humedad del suelo para el uso de las plantas en su transpiración, sí pueden disminuir la cantidad de agua que éstas retiran de la humedad almacenada en el suelo. Gran parte de la precipitación puede ser pérdida por evaporación directa de la superficie de las hojas o de la superficie del suelo. En áreas donde se tienen tormentas durante períodos relativamente cortos después de los riegos, una gran cantidad de ésta se pierde por escorrentía superficial, por percolación profunda o ambas. Otras lluvias pueden tener una intensidad y cantidad tales que un alto porcentaje de las mismas entrará al suelo convirtiéndose en agua disponible para la transpiración. Esta condición disminuye la cantidad de riego necesaria.

b) Temperatura: la tasa de uso consuntivo de un cultivo en un lugar en particular está más afectada por la temperatura (la cual para períodos largos es una buena medida de la radiación solar) que por cualquier otro factor.

Temperaturas anormalmente bajas pueden retardar el crecimiento de las plantas, así como temperaturas demasiado altas pueden producir letargo. El uso consuntivo puede variar aún en años en los cuales las temperaturas acumuladas son iguales debido a las desviaciones de la distribución estacional normal. La transpiración no está afectada únicamente por la temperatura, sino también por la superficie foliar y las necesidades fisiológicas de las plantas, ambas definidas por el estado de madurez.

c) Ciclo vegetativo:

El ciclo vegetativo, el cual está ligado íntimamente a la temperatura, tiene mayor efecto en el uso estacional del agua por las plantas. Frecuentemente se considera el período entre heladas letales, pero para muchos cultivos su ciclo es más corto que el período libre de heladas, como tales cultivos son normalmente plantados después de las heladas, pueden crecer y madurar antes de que éstas se repitan.

d) Latitud y Radiación solar:

A causa del movimiento de la tierra y de la inclinación de su eje, las horas de luz por día durante el verano son muchas más en las altas latitudes que en el Ecuador. Puesto que el sol es la fuente de toda la energía usada por los cultivos para su crecimiento y para la evaporación del agua, estos días más largos pueden provocar que la transpiración vegetal continúe durante más tiempo cada día y producir un efecto similar al alargamiento del ciclo del cultivo.

e) Otros factores climáticos:

Otros factores climáticos que tienen incidencia en la cantidad de agua de riego consumida por los cultivos son los siguientes:

Viento: la evaporación del agua de la tierra y de las superficies vegetales se efectúa más rápidamente cuando existe viento. Vientos cálidos y secos, así como condiciones de viento poco usuales durante el período de crecimiento del cultivo, afecta su requerimiento de agua para uso consuntivo. Sin embargo, existe un límite en la cantidad de agua que puede ser utilizada. Tan pronto como la superficie del suelo está seca, la evaporación prácticamente se detiene y la transpiración está limitada por la habilidad del cultivo para extraer el agua de la humedad del suelo y conducirla a través de sus tejidos.

Advección: los cultivos en área bajo riego rodeado por grandes áreas áridas y semi-áridas pueden recibir energía adicional para evaporación del agua por advección. Un gran porcentaje de la energía solar neta recibida en las áreas áridas es empleada para calentar la atmósfera, como estas masas de aire caliente se mueven sobre las áreas irrigadas que están generalmente más frías, la energía contenida en el aire como calor sensible, pueden ser usadas para la evaporación del agua por transferencia turbulenta vertical. Creando así un efecto de "oasis". Esta evaporación de agua por transferencia turbulenta vertical puede causar un incremento considerable en el uso consuntivo normal de áreas. Se cree que este fenómeno no es significativo para áreas húmedas.

f) Etapa de crecimiento:

Otro de los factores importantes, el período de crecimiento, afecta considerablemente la tasa de uso consuntivo. Esto es particularmente cierto para cultivos anuales que en general tienen tres etapas distintas de crecimiento, éstas son:

1. Emergencia y desarrollo de la cubierta vegetativa completa, durante este período la tasa de uso consuntivo aumenta rápidamente desde un valor bajo hasta aproximarse a su máxima.

2. Período de máxima cobertura vegetativa, durante este período la tasa de uso consuntivo se acerca al máximo si existe abundante humedad en el suelo y si ésta está disponible.

3. Maduración del cultivo, donde para la mayoría de los cultivos, el uso consuntivo principia a decrecer. Durante el período de maduración, la misma planta se convierte en el factor limitante de la tasa de transpiración.

g) Provisión de agua disponible para riego:

Todos los factores ya mencionados influyen en la cantidad de agua que potencialmente puede ser consumida en un área específica. Sin embargo, existen otros factores que también establecen importantes diferencias en las tasas de uso consuntivo. Obviamente, sólo si existe agua disponible de alguna fuente (precipitación, agua freática o agua de riego) se puede dar el gasto consuntivo. Donde el agua es abundante y barata, la tendencia de los agricultores es sobre-regar. Si la superficie del suelo se encuentra continuamente húmeda y la evaporación resultante es alta, la combinación de evaporación y transpiración, es decir el uso consuntivo, puede también incrementarse. Así como en condiciones óptimas de humedad del suelo, la producción del cultivo puede ser mayor que el promedio y por lo tanto consumir más agua.

h) Calidad de agua:

Algunas investigaciones han mostrado que, además de la cantidad y distribución estacional del suplemento de agua, la calidad de la misma podría tener un efecto menor en el uso consuntivo. Ya sea que la planta requiera más o menos agua, si la fuente de ésta es altamente salina, su uso podría no ser considerado.

i) Fertilidad del suelo:

Si se incrementa la fertilidad del suelo a través de la aplicación de abono o por algún otro medio, se puede esperar un incremento en la producción acompañado por un aumento en el requerimiento del agua. Sin embargo, este incremento es tan pequeño que raras veces es considerado cuando se estima el uso consuntivo.

3. Estimación del Uso Consuntivo:

En áreas donde existen pocas o no existen mediciones disponibles del uso consuntivo, frecuentemente es necesario estimarlo a partir de datos climatológicos. Para este propósito el Servicio de Conservación de Suelos emplea el método Blaney-Criddle con algunas modificaciones. Blaney y Criddle encontraron que la cantidad de agua consuntivamente empleada por los cultivos durante su período normal de crecimiento estaba íntimamente relacionada con la temperatura media mensual y las horas luz del día. Ellos desarrollaron coeficientes que permiten utilizar los datos del uso consuntivo de un área específica en otras áreas para las cuales únicamente hay disponibles datos climatológicos.

La demanda neta de agua de riego para satisfacer el uso consuntivo se encuentra sustrayendo la precipitación efectiva del requerimiento de uso consuntivo durante el ciclo vegetativo o bien durante la temporada de riego.

Como ya se indicó, son varios los factores que deben ser tomados en cuenta si el requerimiento de agua para uso consuntivo va a ser determinado con precisión. De los factores climáticos, el efecto de la temperatura y la radiación solar sobre el crecimiento de las plantas como medidas de la radiación solar, es sin duda el más importante. Los registros de temperatura y precipitación son más fácilmente

obtenibles que la mayoría de los otros datos climatológicos. Los registros de radiación solar reales o locales generalmente son obtenibles, no obstante el efecto de ésta es muy importante en la tasa de crecimiento de las plantas y en la cantidad de agua que consumirán.

El efecto de la radiación solar puede ser inferido empleando el número de horas-luz por día (largo del día) durante el período de crecimiento a diversas latitudes. Por ejemplo, el largo del día en el Ecuador varía poco a través del año, sin embargo, a 50° latitud norte, es mucho más largo el día en el verano que en el invierno. Así, a igual temperatura, la fotosíntesis puede darse durante más horas en un día de junio en esa latitud norte que en el Ecuador. El crecimiento del cultivo y la cantidad de agua requerida para el uso consuntivo varían con la oportunidad de fotosíntesis.

El procedimiento Blaney-Criddle, generalmente ha proporcionado resultados bastante precisos cuando se emplea para el propósito para el cual fue originalmente desarrollado, esto es: estimación del uso consuntivo estacional. Sin embargo, el diseño de sistemas de riego, sistemas de distribución e instalaciones de almacenamiento de agua requieren que las estimaciones del uso consuntivo sean hechas para períodos cortos de tiempo de 5 a 30 días. Se ha encontrado que el coeficiente de cultivo mencionado antes, no es constante para los períodos cortos consecutivos a través de su ciclo. Por lo que se hace necesario hacer dos modificaciones al procedimiento original a fin de obtener una aceptable estimación del uso consuntivo de períodos cortos.

Una modificación requiere el uso de coeficientes climáticos que están directamente relacionados con la temperatura media del aire, para cada uno de los períodos cortos consecutivos que constituyen el ciclo de cultivo. El otro requiere

del uso coeficientes que reflejan la influencia de las etapas de crecimiento del cultivo sobre la tasa de uso consuntivo. Ambas modificaciones se explican a continuación:

4. La Fórmula Blaney-Criddle:

Despreciando muchos factores de influencia, el uso consuntivo varía con la temperatura, largo del día y humedad disponible sin considerar su origen (precipitación, agua de riego o agua freática). Multiplicando la temperatura media mensual (t) por el posible porcentaje mensual de horas luz con respecto al total de horas luz anual (p) se obtiene un factor de uso consuntivo mensual (f). Se asume que el uso consuntivo del cultivo varía directamente con este factor cuando se dispone de una abundante dotación de agua. Expresado matemáticamente:

$$U = KF \quad (4)$$

$$U = \frac{M}{12} kf \quad (5)$$

U = Uso consuntivo del cultivo en pulgadas para el ciclo completo o la temporada de riego.

K = Coeficiente empírico de uso consuntivo del cultivo para el ciclo de cultivo. Este coeficiente varía con los diferentes cultivos bajo riego. (Coeficiente global.)

u = Uso consuntivo mensual del cultivo en pulgadas.

k = Coeficiente empírico de uso consuntivo del cultivo para un mes.

f = Factor mensual de uso consuntivo (producto de la multiplicación de la temperatura del mes por el porcentaje de horas luz de ese mes con respecto al total anual de horas luz).

$$f = \frac{t \times p}{100} \quad (6)$$

Dónde:

t = Temperatura media mensual del aire en grados Fahrenheit.

p = Porcentaje mensual de horas luz con respecto al total anual, los valores de (p) para latitudes de 0° a 65° norte del Ecuador se muestran en la tabla 1.

Nota: los valores de (t), (p), (f) y (k) pueden también ser aplicados para períodos menores de un mes.

A continuación se exponen las modificaciones hechas a la fórmula original:

$$k = k_t \times k_c \quad (15)$$

Donde:

k_t = Coeficiente climático relacionado con la temperatura media del aire.

$$k_t = 0.0173t - 0.314 \quad (16)$$

Donde:

k_t = Los valores de k_t para la temperatura media del aire de 36° a 100°F se muestran en la tabla 2.

k_c = Coeficiente que muestra el período de crecimiento del cultivo. Los valores se obtienen de las curvas de crecimiento del cultivo.

El factor de uso consuntivo (F) puede ser calculado para áreas en las cuales se pueden obtener registros de temperatura medias mensuales, empleando el porcentaje de horas luz expuesto en la tabla 1. Entonces el total de uso consuntivo del cultivo (U) se obtiene multiplicando (F) por el coeficiente empírico del uso consuntivo del cultivo (K). Esta relación permite determinar el uso consuntivo estacional en cualquier localidad para aquellos cultivos cuyos valores de (k) han sido experimentalmente establecidos o pueden ser estimados.

TABLA 1. Porcentaje mensual de horas luz con respecto al total anual.
Para latitudes de 0° a 20° Norte del Ecuador.

| Latitude North | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May | June | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 20° | 7.75 | 7.26 | 8.41 | 8.53 | 9.15 | 9.02 | 9.24 | 8.95 | 8.29 | 8.17 | 7.58 | 7.65 |
| 19° | 7.79 | 7.28 | 8.41 | 8.51 | 9.12 | 8.97 | 9.20 | 8.93 | 8.29 | 8.19 | 7.61 | 7.70 |
| 18° | 7.83 | 7.31 | 8.41 | 8.50 | 9.08 | 8.93 | 9.16 | 8.90 | 8.29 | 8.20 | 7.65 | 7.74 |
| 17° | 7.87 | 7.33 | 8.42 | 8.48 | 9.04 | 8.89 | 9.12 | 8.88 | 8.28 | 8.22 | 7.68 | 7.79 |
| 16° | 7.91 | 7.35 | 8.42 | 8.47 | 9.01 | 8.85 | 9.08 | 8.85 | 8.28 | 8.23 | 7.72 | 7.83 |
| 15° | 7.94 | 7.37 | 8.43 | 8.45 | 8.98 | 8.81 | 9.04 | 8.83 | 8.27 | 8.25 | 7.75 | 7.88 |
| 14° | 7.98 | 7.39 | 8.43 | 8.43 | 8.94 | 8.77 | 9.00 | 8.80 | 8.27 | 8.27 | 7.79 | 7.93 |
| 13° | 8.02 | 7.41 | 8.43 | 8.42 | 8.91 | 8.73 | 8.96 | 8.78 | 8.26 | 8.29 | 7.82 | 7.97 |
| 12° | 8.06 | 7.43 | 8.44 | 8.40 | 8.87 | 8.69 | 8.92 | 8.76 | 8.26 | 8.31 | 7.85 | 8.01 |
| 11° | 8.10 | 7.45 | 8.44 | 8.39 | 8.84 | 8.65 | 8.88 | 8.73 | 8.26 | 8.33 | 7.88 | 8.05 |
| 10° | 8.14 | 7.47 | 8.45 | 8.37 | 8.81 | 8.61 | 8.85 | 8.71 | 8.25 | 8.34 | 7.91 | 8.09 |
| 9° | 8.18 | 7.49 | 8.45 | 8.35 | 8.77 | 8.57 | 8.81 | 8.68 | 8.25 | 8.36 | 7.95 | 8.14 |
| 8° | 8.21 | 7.51 | 8.45 | 8.34 | 8.74 | 8.53 | 8.78 | 8.66 | 8.25 | 8.37 | 7.98 | 8.18 |
| 7° | 8.25 | 7.53 | 8.46 | 8.32 | 8.71 | 8.49 | 8.74 | 8.64 | 8.25 | 8.38 | 8.01 | 8.22 |
| 6° | 8.28 | 7.55 | 8.46 | 8.31 | 8.68 | 8.45 | 8.71 | 8.62 | 8.24 | 8.40 | 8.04 | 8.26 |
| 5° | 8.32 | 7.57 | 8.47 | 8.29 | 8.65 | 8.41 | 8.67 | 8.60 | 8.24 | 8.41 | 8.07 | 8.30 |
| 4° | 8.36 | 7.59 | 8.47 | 8.28 | 8.62 | 8.37 | 8.64 | 8.57 | 8.23 | 8.43 | 8.10 | 8.34 |
| 3° | 8.40 | 7.61 | 8.48 | 8.26 | 8.58 | 8.33 | 8.60 | 8.55 | 8.23 | 8.45 | 8.13 | 8.38 |
| 2° | 8.43 | 7.63 | 8.49 | 8.25 | 8.55 | 8.29 | 8.57 | 8.53 | 8.22 | 8.46 | 8.16 | 8.42 |
| 1° | 8.47 | 7.65 | 8.49 | 8.23 | 8.52 | 8.25 | 8.53 | 8.51 | 8.22 | 8.48 | 8.19 | 8.46 |
| 0° | 8.50 | 7.67 | 8.49 | 8.22 | 8.49 | 8.22 | 8.50 | 8.49 | 8.21 | 8.49 | 8.22 | 8.50 |

TABLA 2. Valores del coeficiente climático, $k_t^{1/}$ para diversas temperaturas medias del aire, t.

| t °F | k_t | t °F | k_t | t °F | k_t |
|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| 36 | .31 | 61 | .74 | 86 | 1.17 |
| 37 | .33 | 62 | .76 | 87 | 1.19 |
| 38 | .34 | 63 | .78 | 88 | 1.21 |
| 39 | .36 | 64 | .79 | 89 | 1.23 |
| 40 | .38 | 65 | .81 | 90 | 1.24 |
| 41 | .40 | 66 | .83 | 91 | 1.26 |
| 42 | .41 | 67 | .85 | 92 | 1.28 |
| 43 | .43 | 68 | .86 | 93 | 1.30 |
| 44 | .45 | 69 | .88 | 94 | 1.31 |
| 45 | .46 | 70 | .90 | 95 | 1.33 |
| 46 | .48 | 71 | .91 | 96 | 1.35 |
| 47 | .50 | 72 | .93 | 97 | 1.36 |
| 48 | .52 | 73 | .95 | 98 | 1.38 |
| 49 | .53 | 74 | .97 | 99 | 1.40 |
| 50 | .55 | 75 | .98 | 100 | 1.42 |
| 51 | .57 | 76 | 1.00 | | |
| 52 | .59 | 77 | 1.02 | | |
| 53 | .60 | 78 | 1.04 | | |
| 54 | .62 | 79 | 1.05 | | |
| 55 | .64 | 80 | 1.07 | | |
| 56 | .66 | 81 | 1.09 | | |
| 57 | .67 | 82 | 1.11 | | |
| 58 | .69 | 83 | 1.12 | | |
| 59 | .71 | 84 | 1.14 | | |
| 60 | .72 | 85 | 1.16 | | |

1/ Valores de (k_t) están basados en la fórmula $k_t = 0.0173t - 0.314$ para temperaturas menos de 36°, use $k_t = 0.3$.

F. Infiltración

Parte importante del análisis del presente estudio es el fenómeno de infiltración, por lo cual, el método seleccionado para determinarla se expone a continuación:

Infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra al suelo a través de su superficie (Horton 1940).

Modelos de Infiltración (Hachum y Alfaro, 1980)

Un modelo de infiltración puede ser considerado como una herramienta (regularmente en forma de ecuación) para representar la infiltración en el campo bajo una serie de condiciones determinadas.

Los modelos de infiltración pueden ser arbitrariamente clasificados en tres categorías:

- Empíricos
- Numéricos
- Basados en características físicas

Modelos empíricos: los modelos empíricos se clasifican a su vez, en modelos de infiltración de flujo y modelos de infiltración de lluvia. Dentro de los primeros encontramos las ecuaciones de Kostyakov (1932) y de Philip (1975).

Dentro de los modelos de infiltración de lluvia se pueden identificar los modelos de Neyestani (1968) y de El-Shafei (1970).

Modelos numéricos: éstos se basan en la resolución de la ecuación general de flujo (ecuación de Richard) sujetos a las propiedades iniciales y finales del sistema.

Modelos basados en características físicas: estos modelos se basan en las leyes naturales y físicas que describen aspectos reales de comportamiento del sistema.

Debido a la complejidad de los modelos que tratan de involucrar todas las características que influyen en el proceso, se empleará para el presente trabajo el modelo de Kostyakov, el cual se basa en la siguiente ecuación:

$$I = Kt^n \quad (17)$$

En la cual la lámina instantánea de infiltración, I , expresada en función de tiempo, t , y K y n son parámetros empíricos. El modelo Kostyakov básicamente asume que el comportamiento de la velocidad de infiltración con respecto al tiempo, se ajusta a una curva potencial de la forma:

$$y = ax^b \quad (18)$$

Curva que se convierte en una línea al reareglarla logarítmicamente (o bien al dibujarla sobre un paper doble logarítmico):

$$\log y = \log a + b(\log x) \quad (19)$$

En la cual se pueden definir a:

b = pendiente de la recta

$\log a$ = intercepción en el eje y - y

De esta manera se facilita el análisis, al introducir los datos en una calculadora programable que genera los parámetros automáticamente.

VI. METODOLOGIA

1. Muestreo de usuarios

1.1 Estimación de la muestra

La Unidad de Riego El Rancho-Jícaro, cuenta actualmente con un total de 160 usuarios. Debido a que éste es un número bastante grande de agricultores sujetos de análisis, el evaluarlos a todos presenta una serie de dificultades, tal como lo costoso del estudio, requeriría demasiado tiempo y personal capacitado, contándose además con una repetitividad innecesaria de análisis, debido a que algunos agricultores cuentan con más de una parcela sembrada y que consecuentemente podría presentar las mismas características de riego. Por todo lo anterior, para tratar de establecer el diagnóstico de la unidad, se empleó el método estadístico conocido como Muestreo, en el cual se determina un número óptimo de integrantes de una muestra lo más representativa posible, la cual se evalúa y se trata como si fuera la población total, con la salvedad de darle a los datos la confiabilidad que se le dio a la selección de la muestra. Para la selección de dicha muestra se empleó la fórmula:

$$M = \frac{N}{Nd^2 + 1} \quad (20)$$

Donde:

M = Número de integrantes de la muestra

N = Número total de integrantes de la población

d = Márgen de error

Tomando en cuenta la serie de limitaciones económicas y de operacionalidad expuestas, el margen de error de 15% se tomará en cuenta para la selección de la muestra e interpretación de resultados. Con los datos descritos anteriormente, la fórmula arroja una muestra de 35 usuarios para evaluación. La cifra anterior representa un 22% de la población total, lo que representa un poco más de un quinto.

1.2 Selección de la muestra

En la época en que se realizó el estudio, cerca del 100% de los usuarios se encontraba cultivando tabaco, lo cual daba una gran uniformidad en cuanto a la selección de la muestra con respecto a cultivo.

De la totalidad de usuarios, ninguno representaba diferencias significativas con respecto a los demás. Es decir que se consideró la población total como homogénea con respecto a los hábitos de riego, o más bien, sin posibilidad ni justificación técnica para realizar una estratificación de los mismos basándose en la actividad del riego (lo cual representaba la variable clave del estudio). Por todo lo anterior, para la selección de la muestra, se empleó el método de selección al azar irrestricto.

La Unidad se encuentra dividida arbitrariamente en 5 sectores, sectorización que está basada en algunas piezas de infraestructura del canal principal (tales como principios de canales secundarios, sifones y otros). Cada uno de estos cinco sectores está a cargo de un funcionario del departamento de estadística de la Unidad, quien es responsable de recabar información (de tipo agrícola) de cada uno de los integrantes de su sector. Por lo anterior, los citados funcionarios, cuentan con listados completos de los agricultores a su cargo, así como algunas características importantes de sus parcelas (cultivo, fechas de siembra, manejo).

Haciendo uso de la información que poseían los encargados de cada sector, se llevó a cabo un sorteo en cada uno de estos últimos, asignándoles una numeración totalmente al azar y seleccionando de esta forma a 7 usuarios de cada uno de los 5 sectores citados, con lo que se completaba la muestra de 35 agricultores.

Con el mecanismo mencionado, se distribuía la muestra a lo largo de toda la unidad y llevándose a cabo la selección aleatoriamente. Para la identificación de las parcelas incluidas en la muestra, así como para la serie de pruebas posteriores, se contó con la colaboración de los funcionarios aludidos. Los 35 agricultores de la muestra, se encontraban cultivando tabaco, debido a lo cual el análisis y evaluación se refiere en su totalidad a este cultivo, el cual es uno de los más importantes en la región oriental del país.

1.3 Operación en el campo

Una vez determinado el agricultor y ubicada la parcela en cuestión, se procedió a efectuar una entrevista preliminar con cada uno de ellos, exponiéndoles la naturaleza del estudio y solicitando su colaboración, a lo cual todos accedieron. Luego de lo anterior se procedió a llenar las boletas de encuesta, detallada en el apéndice. En general la boleta constaba de 4 áreas:

- a) experiencia en riego
- b) preparación del terreno para riego
- c) manejo del riego
- d) asistencia técnica en riego

Dicha boleta fue extractada y modificada del "Informe Final sobre el Programa de Consultoría en Planificación Socio-Económica," del programa de Cooperación Técnica Guatemala-BID, presentada por B. A. Spencer en julio de 1974. Para lo anterior se entrevistó en todos los casos al encargado directo o principal de la plantación, es decir, la persona que tomaba las decisiones y dirigía el riego.

2. Recolección de datos climatológicos

Para la determinación de la evapotranspiración

por el método Blaney-Criddle (ver revisión bibliográfica, apartado E), así como los requerimientos de riego, se emplearon los siguientes datos:

- a. precipitación
- b. temperaturas medias
- c. porcentaje de horas luz con respecto al total anual

Los primeros dos, fueron recabados de la estación de Morazán, la cual por su ubicación se identifica bastante bien con las características climatológicas de la unidad. Dicha estación está clasificada como tipo B, por lo que dispone de:

Pluviógrafo, termómetro diferencial, psicrómetro y veleta

El tercer dato está directamente relacionado con la latitud en la que se encuentra ubicada el área donde se quiere conocer dicho parámetro, por lo que para lo cual se emplearon tablas elaboradas para tal efecto. La citada tabla se adjunta en la revisión bibliográfica E, tabla No.1.

3. Muestreo de suelos

3.1 Muestreo previo

Inicialmente se efectuó un muestreo, con la finalidad de establecer las características físicas del suelo relacionadas con el riego, i.e., textura, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente, así como el status de humedad del mismo en ese momento antes del riego. El método empleado fue el de la barrena tipo tornillo. La muestra se extrajo a una profundidad de 45cm, con un ancho de 20cm de muestra. La profundidad se seleccionó debido a que la profundidad efectiva promedio de la planta de tabaco es de 50cm; además, el ancho de muestreo daba una porción bastante representativa de cada suelo. Las extracciones individuales se hicieron distribuidas en todo el terreno.

El análisis efectuado de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de la Dirección de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura y en el laboratorio de la misma unidad de riego. La utilidad de la determinación de las arriba citadas características, fue la de establecer la capacidad de almacenamiento de cada suelo y el contenido específico de humedad en ese momento. Ambas determinaciones servirían para establecer el déficit de humedad que sería ne-

cesario completar con el riego que estaba a punto de realizarse. Es decir que, por un lado, se determinó la capacidad total de almacenamiento del suelo y, por el otro, la fracción que de esa capacidad total existía en ese preciso instante previo al riego. Esto último se determinó empleando el método del secado de la muestra a 115°C, durante un mínimo de 24 horas, pesándose ésta antes y después de ser pasada por el horno. Los resultados de ambos análisis se detallan en el Apéndice.

3.2 Muestreo post-riego

Una vez aplicado el riego, de 24 a 36 horas después, se efectuó un muestreo de suelos, para establecer si se había humedecido la zona radicular y en qué medida. Lo anterior se realizó, no obstante, la descripción teórica de la metodología de evaluación no lo estima necesario, pues la idea es determinar en qué medida se pierde agua por percolación, profunda y escorrentía superficial, así como establecer la uniformidad de distribución del riego; por lo que el muestreo post-riego únicamente podría servir para corroborar la uniformidad de distribución inferida. Es decir, que la metodología aplicada conduce a una serie de determinaciones y resultados (curvas de avance y recesión, perfil típico de humedecimiento) que no hacen necesario este muestreo a posteriori.

Las profundidades seleccionadas fueron de 30 y 60cm, con lo cual se cubría cerca del 90% de la zona de influencia de la capacidad de absorción de la raíz de la planta de tabaco. La humedad por debajo de este punto, se consideraba para este cultivo, como de relativa poca absorción y desde el punto de vista del manejo del agua como humedad prácticamente desperdiciada o perdida hacia la percolación profunda.

Las muestras individuales se extractaron de la mitad de cada una de las cuartas partes del surco en cuestión (ver figura 5) y los resultados se exponen en el Apéndice.

4. Infiltración

4.1 Práctica de campo

Debido a las irregularidades de los surcos, se decidió emplear el método del cilindro infiltrómetro simple; ya que ese método, aunque es bastante puntual, se consideró más apropiado que el método de entradas y salidas o bien el del surco fraccionado, dada la poca uniformidad que presentaba el microrrelieve del surco y su pendiente.

Para la aplicación de esta práctica se seleccionó un punto apropiado, aproximadamente al centro del surco, donde el citado cilindro fue incado y luego aplicada el agua a su interior. Las pruebas fueron efectuadas con un mínimo de 4 días después del último riego, ya que se deseaba establecer el comportamiento del suelo seco ante la aplicación del agua y no únicamente la infiltración básica, parámetro que solamente define la conductividad hidráulica, lo cual no era suficiente para la evaluación del sistema, según la metodología descrita.

Los datos recabados en el campo fueron los siguientes:

Identificación del terreno (básicamente con el nombre del propietario o encargado)

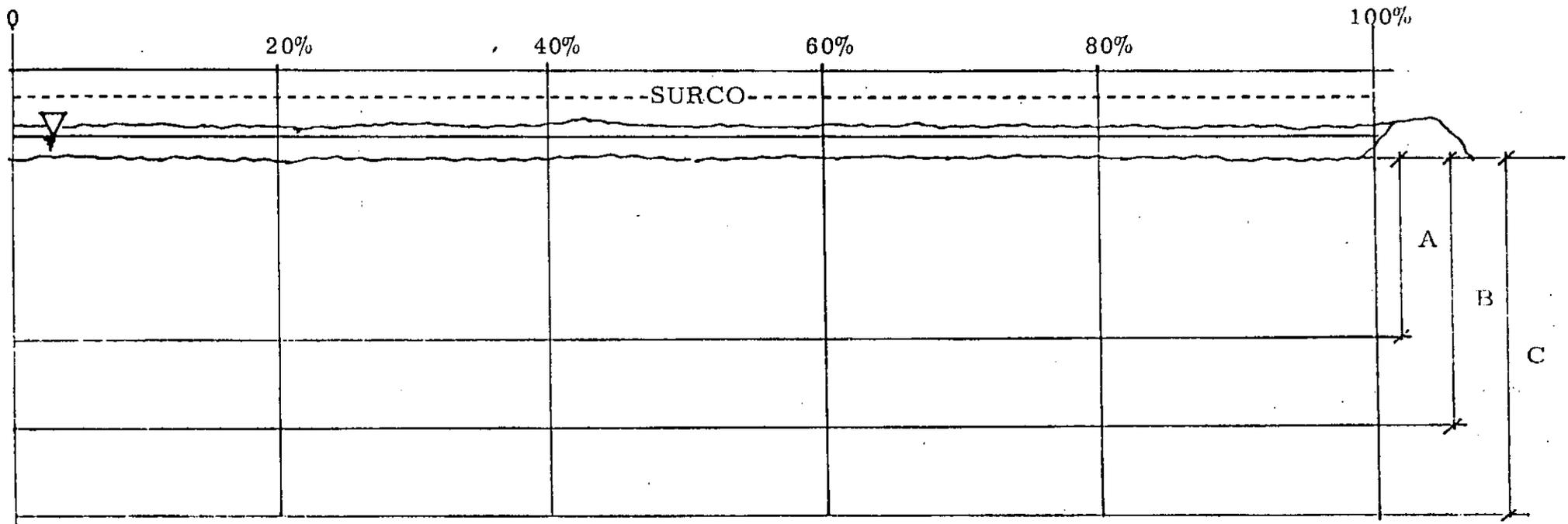
Hora de inicio de la prueba

Tiempo de infiltración

Lámina infiltrada

La toma de lectura de lámina infiltrada se hizo a intervalos variables, debido al comportamiento decreciente de las velocidades de infiltración con respecto al tiempo. Así,

FIGURA 5 :- Profundidades de muestreo para las parcelas seleccionadas. UNIDAD DE RIEGO EL RANCHO-JICARO.



Pre-riego: B= 45cm. profundidad efectiva media ponderada para el **cultivo del tabaco**.

Post-riego: A= 30cm. y C= 60cm.

El muestreo pre-riego se efectuó distribuido en todo el terreno, de manera de establecer la humedad media del mismo. El muestreo post-riego se efectuó únicamente en el surco o surcos analizados. Todos los muestreos citados se hicieron con barrena.

Escala horizontal: valores relativos

Escala vertical: 1:10

se inició con intervalos de un minuto, luego cinco, diez, quince y treinta minutos, hasta completar dos horas, período recomendado por W. Forsythe en su Manual de Laboratorio de Física de Suelos (ver Bibliografía, cita No. 4).

4.2 Práctica de Gabinete

Una vez obtenidos los datos de campo, se procedió a establecer con ellos el comportamiento de la infiltración del agua en el terreno. Lo anterior representado por la ecuación de infiltración de cada una de las parcelas analizadas. Tal y como se discutió en el apartado correspondiente a este proceso (apartado "F" de la Revisión Bibliográfica), el modelo seleccionado fue el de Kosyakov. Este modelo, aunque se basa en un ajuste a una curva de comportamiento típico, representaba para este estudio el más conveniente.

El procedimiento de análisis consistió en emplear un artificio matemático a través del cual, se convirtió la ecuación de la forma potencial (ecuación 18) a una de forma lineal (ecuación 19), con la cual se trabajaría con los logaritmos de los datos crudos.

Una vez efectuada la modificación descrita en el párrafo anterior, se extrajeron los logaritmos (de base 10), de los juegos de datos, quedando el formato con el encabezamiento como sigue:

| <u>Hora Lec.</u> | <u>Diferencia de Horas</u> | <u>Tiempo Acumulado</u> | <u>Lectura</u> | <u>Diferencia de Lecturas</u> | <u>Velocidad cm/hora</u> |
|------------------|----------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
|------------------|----------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|

| <u>Logaritmo del Tiempo Acumulado</u> | <u>Logaritmo de la Velocidad</u> |
|---------------------------------------|----------------------------------|
|---------------------------------------|----------------------------------|

A continuación se presenta un ejemplo.

Ejemplo del Análisis de Infiltración, Método Kostyakov:

| Hora Lectura | Dif. Hora, min. | Tiempo Acumulado | Lectura cm. | Dif. Lecturas | Vel. cm/hora | Log. T. Acumulado | Log. de la Velocidad |
|--------------|-----------------|------------------|-------------|---------------|--------------|-------------------|----------------------|
| 8:03 | - | - | 6.90 | - | 12.0 | - | 1.0792 |
| 04 | 1 | 1 | 7.10 | 0.20 | 6.0 | 0.0000 | 0.7782 |
| 05 | 1 | 2 | 7.20 | 0.10 | 9.0 | 0.3010 | 0.9542 |
| 06 | 1 | 3 | 7.35 | 0.15 | 9.0 | 0.4771 | 0.9542 |
| 07 | 1 | 4 | 7.50 | 0.15 | 3.0 | 0.6021 | 0.4771 |
| 08 | 1 | 5 | 7.55 | 0.05 | 5.4 | 0.6990 | 0.7324 |
| 13 | 5 | 10 | 8.00 | 0.45 | 4.5 | 1.0000 | 0.6532 |
| 23 | 10 | 20 | 8.75 | 0.75 | 3.3 | 1.3010 | 0.5185 |
| 33 | 10 | 30 | 9.30 | 0.55 | 3.2 | 1.4771 | 0.5051 |
| 48 | 15 | 45 | 10.10 | 0.80 | 2.8 | 1.6532 | 0.4472 |
| 9:03 | 15 | 60 | 10.80 | 0.70 | 2.9 | 1.7782 | 0.4624 |
| 38 | 35 | 95 | 12.50 | 1.70 | 2.2 | 1.9777 | 0.3424 |
| 10:08 | 30 | 125 | 13.60 | 1.10 | - | 2.0969 | - |

Lo que al operarlo seccionado en grupos de seis da los siguientes resultados:

$$1^\circ \quad 4.9735 = 6 (\log K) + n(3.0792) \quad (21)$$

$$2^\circ \quad 2.9289 = 6 (\log K) + n(10.2429) \quad (22)$$

$$I = 9.4584 t \quad (-0.2857) \quad (23)$$

Donde n y K son los parámetros empíricos que definen, según Kostyakov, la ecuación de la infiltración instantánea, ecuación (17).

Con las ecuaciones (21) y (22) se pueden deducir los parámetros empíricos citados anteriormente y definir la ecuación (23).

Luego de determinada la ecuación de la velocidad instantánea, integrando con respecto al tiempo, se puede determinar la ecuación de la lámina acumulada de infiltración:

$$D = Mt^N \quad (24)$$

Definida por:

D: Lámina de infiltración acumulada

t: Tiempo

M y N: Parámetros empíricos

Y queda como sigue:

$$D = \frac{K}{n+1} (t)^{n+1} \quad (25)$$

Una vez definida la ecuación (24), se puede determinar la lámina infiltrada acumulada en un período determinado después del riego. Lo anterior es sumamente importante para construir el perfil de humedecimiento, como se verá adelante.

Los parámetros empíricos resultados de los análisis de infiltración se detallan en el anexo.

5. Capacidad de Almacenamiento, Status de humedad

Con los resultados arrojados del análisis de las muestras extractadas en el "Muestreo Previo," que fueron:

Capacidad de Campo (CC)

Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Densidad aparente (DAP)

Contenido de humedad de la muestra (H)

Se pudo establecer la lámina requerida para alcanzar el nivel de capacidad de campo en cada uno de los suelos estudiados, con la fórmula:

$$D = \frac{(CC - H)}{100} (DAP) (Z) \quad (26)$$

Donde, además de los términos descritos,

D: Lámina que representa la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el contenido de humedad en la muestra (H)

Z: Profundidad efectiva, para el caso del tabaco (cultivo que tenían sembrado la totalidad de las parcelas analizadas), éste absorbe el 75% del agua en los primeros 30cm y el resto en otros 75cm, lo que implica una media ponderada de aproximadamente 45cm.

Con el resultado de los cálculos descritos anteriormente, se estableció la lámina que sería necesario reemplazar con el riego que estaba a punto de realizarse, justo al momento de tomar la muestra. Las constantes de humedad provenientes de los análisis de las muestras, se detallan en el Apéndice.

6. Análisis del riego

6.1 Dimensionamiento del surco

Para efectuar el análisis del riego, se seleccionó uno o más surcos representativos de cada parcela, los cuales fueron dimensionados de la siguiente forma:

- a. Largo; por la gran diversidad en las dimensiones de las parcelas, se seleccionó un surco de un largo promedio, longitud que fue establecida con cinta (de 30m de longitud).
- b. Ancho; la determinación de un ancho promedio medido directamente en el campo, representaba cierto problema, dada la poca uniformidad de esta dimensión en el surco. Para salvar este obstáculo, se decidió tomar como ancho promedio el ancho normal de siembra dejado para el cultivo en cuestión (tabaco), el cual, por varias pruebas hechas en el campo, se ajustaba bastante bien al ancho promedio buscado.

Por lo tanto, el ancho promedio empleado fue de 30cm. medida proporcionada, además, por los mismos agricultores y por los funcionarios de la Unidad de Riego.

- c. Pendiente; ésta fue otra de las características del surco muy difícil de determinar, dada la sinuosidad del terreno (rara vez se encontró un campo nivelado para el riego). Por lo tanto, para determinar este parámetro, hubo que hacerse un gran número de lecturas, y la lectura promedio de todas, fue la que se consideró correcta. No obstante lo anterior, todas las pendientes encontradas fueron bastante pequeñas. Esta práctica se llevó a cabo empleando clinómetro de bolsillo ystadal, labor que fue auxiliada por los técnicos de la Unidad de Riego.

6.2 Medición de Caudales (aforo)

Uno de los componentes más importantes del presente estudio fue la determinación de la cantidad de agua aplicada a los surcos sujetos de riego. Se pretendía medir dos tipos de caudales: caudales de entrada al surco y caudales de salida o de cola. No obstante lo anterior, al efectuar las pruebas en riego, se comprobó que ninguno presentaba escorrentía de cola, por lo que únicamente se establecieron los caudales de entrada.

Para realizar los aforos necesarios, se empleó el vertedero en V o traingular descrito en la sección 2.6.5 del apartado "D" de la Revisión Bibliográfica. Con base en la ecuación (11) y en que los caudales máximos aplicados no pasaban de 6lps, fue dimensionado el vertedero que se detalla en la Figura No. 6. El cual además cuenta con una holgura o margen de seguridad de 50%.

El vertedero fue construido de latón de 2mm de espesor sin refuerzo. Además se contaba con una escala independiente del vertedero, relacionado al vértice del mismo. Con el fin de hacer coincidir ese punto, con el cero de la escala, se utilizó un nivel de carpintero.

En la práctica, los vertederos fueron instalados en la cabecera del surco, para tratar de aproximar a cero la velocidad de llegada del agua al aforador (condición asumida para deducir la ecuación 11), ver figuras 7 y 8.

Debido a que las lecturas en la escala sufrían pequeñas variaciones, por lo poco regular del flujo de llegada, como caudal de entrada, se tomó el promedio de los caudales deducidos de dichas lecturas. Los resultados del aforo se detallan en el Apéndice, caudales obtenidos gracias a las lecturas efectuadas y la aplicación de la ecuación 11.

FIGURA 6 . - Vertedero triangular empleado en el aforo de caudales aplicados a las parcelas de la muestra.

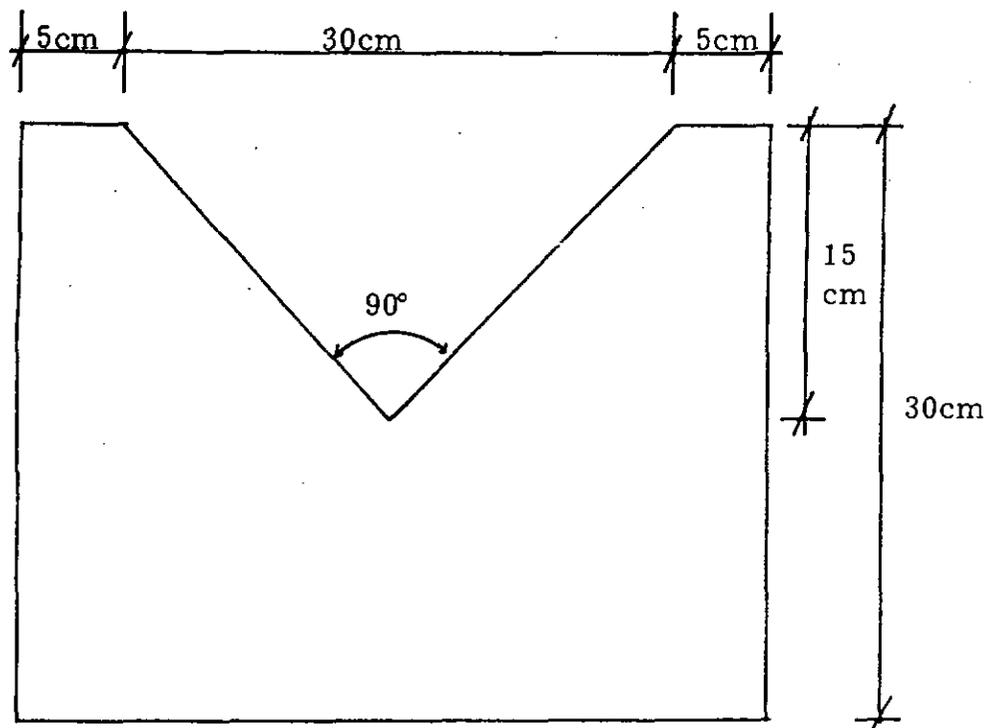


FIGURA . - Detalle de la sección por sobre la cual pasa el agua.

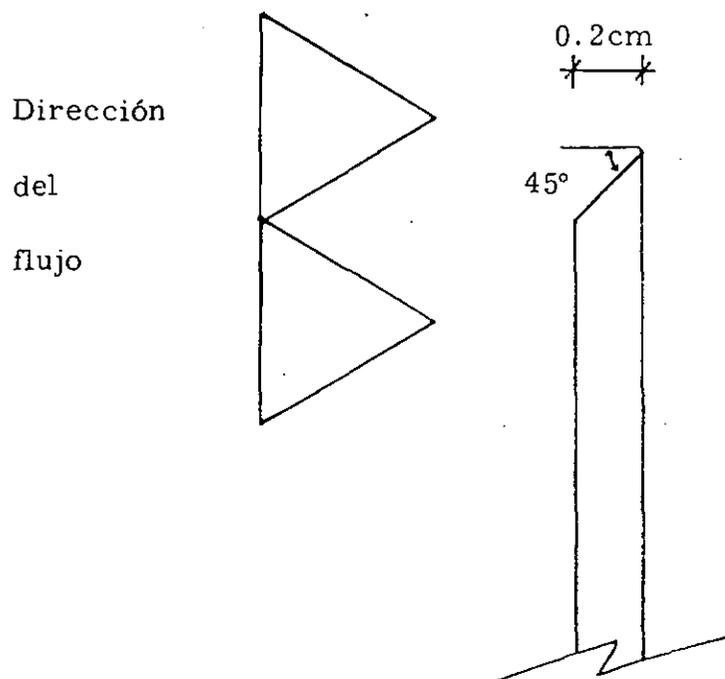
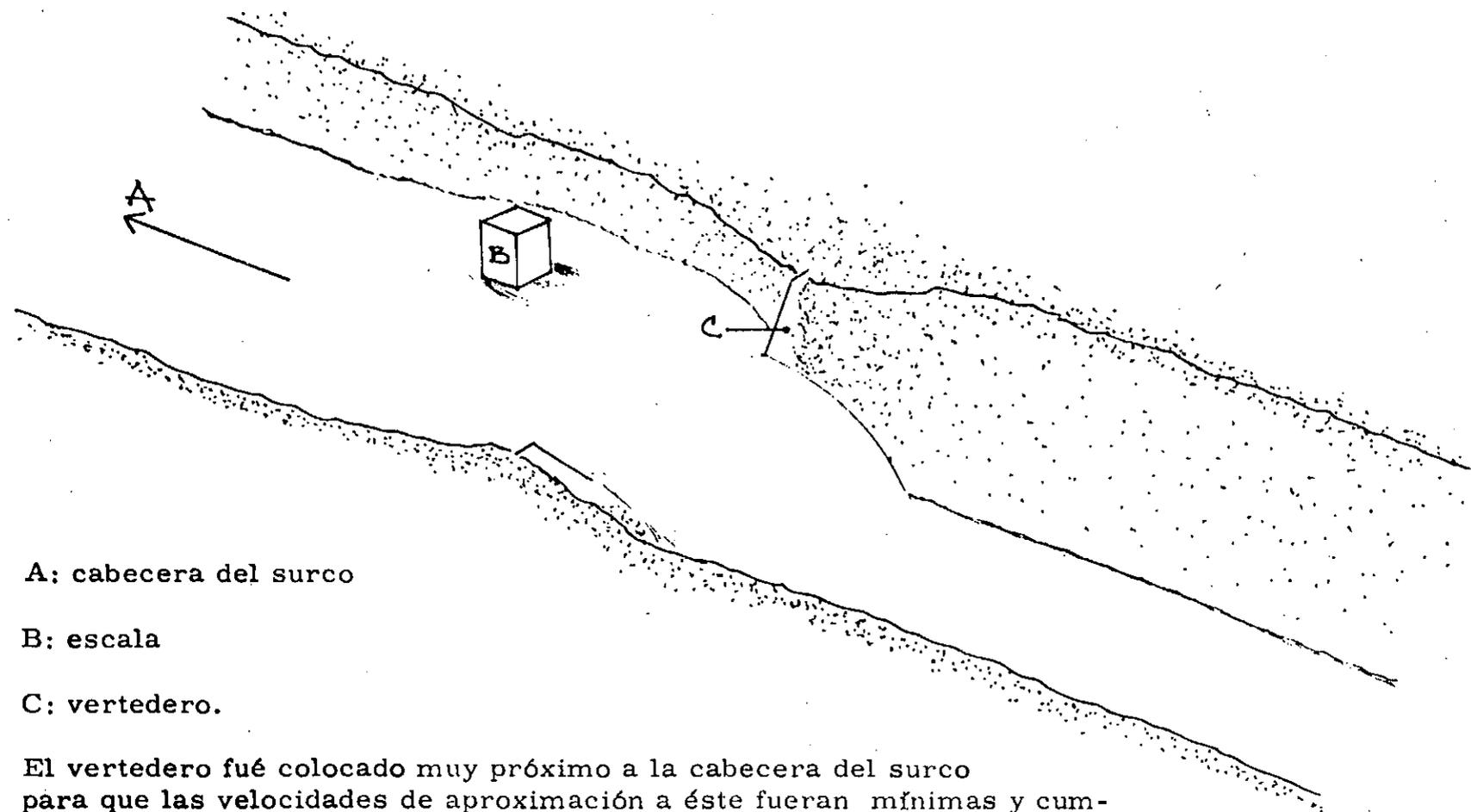


FIGURA 7.- Perspectiva del empleo del vertedero triangular en el aforo de los caudales aplicados a las parcelas de la muestra. UNIDAD DE RIEGO EL RANCHO-JICARO.



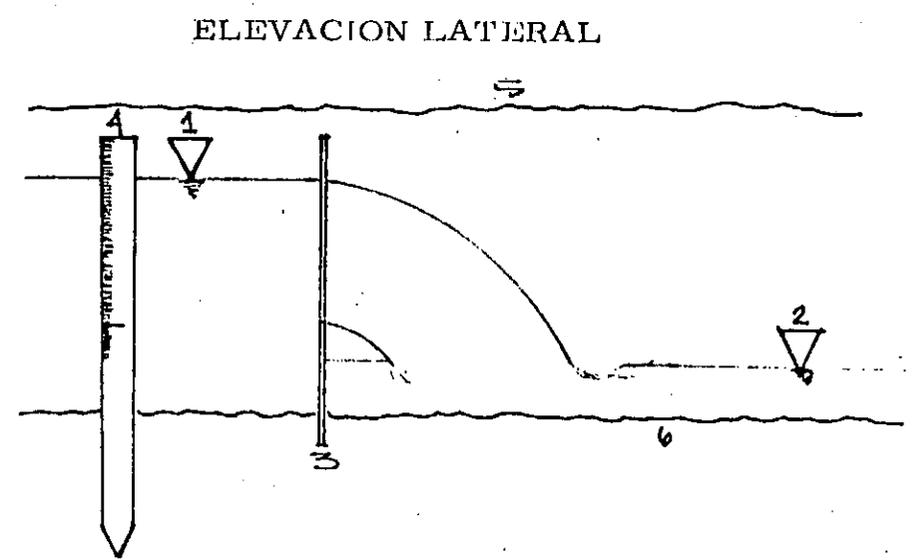
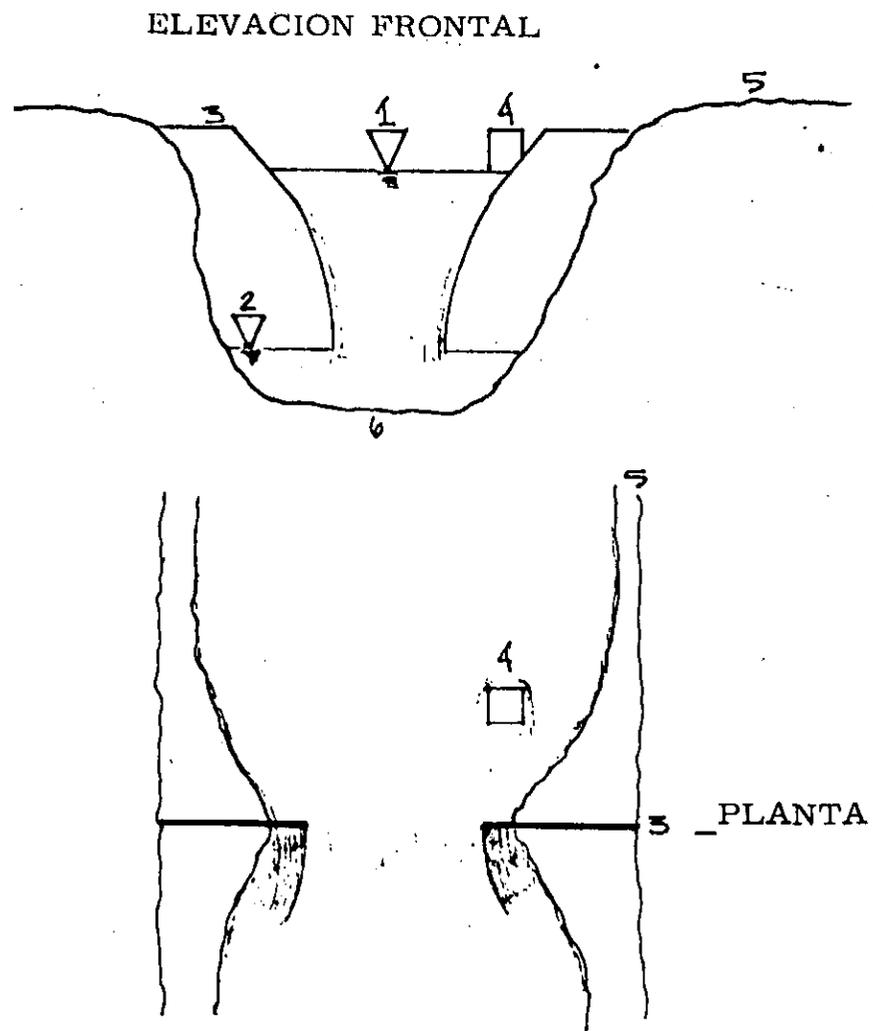
A: cabecera del surco

B: escala

C: vertedero.

El vertedero fué colocado muy próximo a la cabecera del surco para que las velocidades de aproximación a éste fueran mínimas y cumplir así con los requerimientos y especificaciones del uso de este tipo de aforadores.

FIGURA 8 .- Esquema del empleo del vertedero triangular en el aforo de los caudales aplicados por los usuarios seleccionados en la muestra. UNIDAD DE RIEGO EL RANCHO-JICARO.



1. Nivel aguas arriba
2. Nivel aguas abajo
3. Vertedero triangular
4. Escala, colocada en el flujo de llegada
5. Lomo del surco.

6.3 Medición del Avance y Recesión

a. Avance; en esta práctica se pretendía determinar el tiempo que le tomaba al frente húmedo recorrer el surco. Para obtener estas velocidades o tiempos de avance, se establecieron una serie de puntos de referencia equidistantes a lo largo de la ruta del agua, para lo cual, se insertaron estacas, cuya separación varió entre 5 y 10m dependiendo de la longitud total del surco analizado cada vez.

La libreta de campo empleada en la estimación del avance fue la siguiente:

| <u>ESTACION</u> | <u>HORA DE LLEGADA</u> |
|-----------------|------------------------|
|-----------------|------------------------|

En la cual se llevaba registró de la estación (en metros) que era alcanzada por el agua y la hora a la que lo hacía. De esta manera se resumían ciertas características del surco y del caudal de ingreso, tales como rugosidad, pendiente y otras.

b. Recesión; aquí se pretendía medir la velocidad del frente seco a lo largo del surco, es decir, la rapidez con que el agua iba desapareciendo de éste, luego de cortada la dotación. La mecánica de esta práctica fue bastante similar a la empleada en la medición del avance, a tal punto que las estacas usadas como referencia entonces, no fueron retiradas del campo y sirvieron también en las estimaciones de los tiempos de recesión.

La libreta de campo utilizada en este caso fue exactamente la misma que en la práctica anterior.

7. Diagramación

Con los resultados parcialmente obtenidos hasta este punto se elaboraron:

a. Curvas de avance y recesión

Con los datos puntuales de cada estación se construyeron curvas promedio de avance y recesión. Es decir, que se determinó el comportamiento dinámico del agua a lo largo de su recorrido y desaparición en el surco. Lo anterior se logró ubicando en el eje de las abscisas los puntos de referencia o estaciones y, en el eje de las ordenadas los tiempos de avance y de recesión en la misma gráfica. De tal manera que para cada estación existía un tiempo de permanencia del agua sobre ellas hasta desaparecer, lo que constituía la diferencia entre el tiempo de avance o de llegada y el tiempo de recesión, o desaparición del espejo. Ver diagrama a.

b. Perfil de humedecimiento

Una vez establecidos los tiempos de permanencia en cada estación, se utilizó la ecuación de infiltración acumulada, para establecer la lámina que en cada punto había penetrado.

Conociendo esta lámina, se pudo tipificar un perfil de humedecimiento en cada caso, lo que determinaba, en un solo gráfico, la eficiencia de aplicación y la uniformidad de distribución. Con el perfil de humedecimiento, se pudieron establecer también los niveles de pérdida por percolación profunda, dado que se conocían los requerimientos netos

de riego, establecidos en el muestreo y análisis previos. El perfil descrito, así como los resultados de las boletas de encuesta representaban los puntos de referencia básicos en la generación de conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

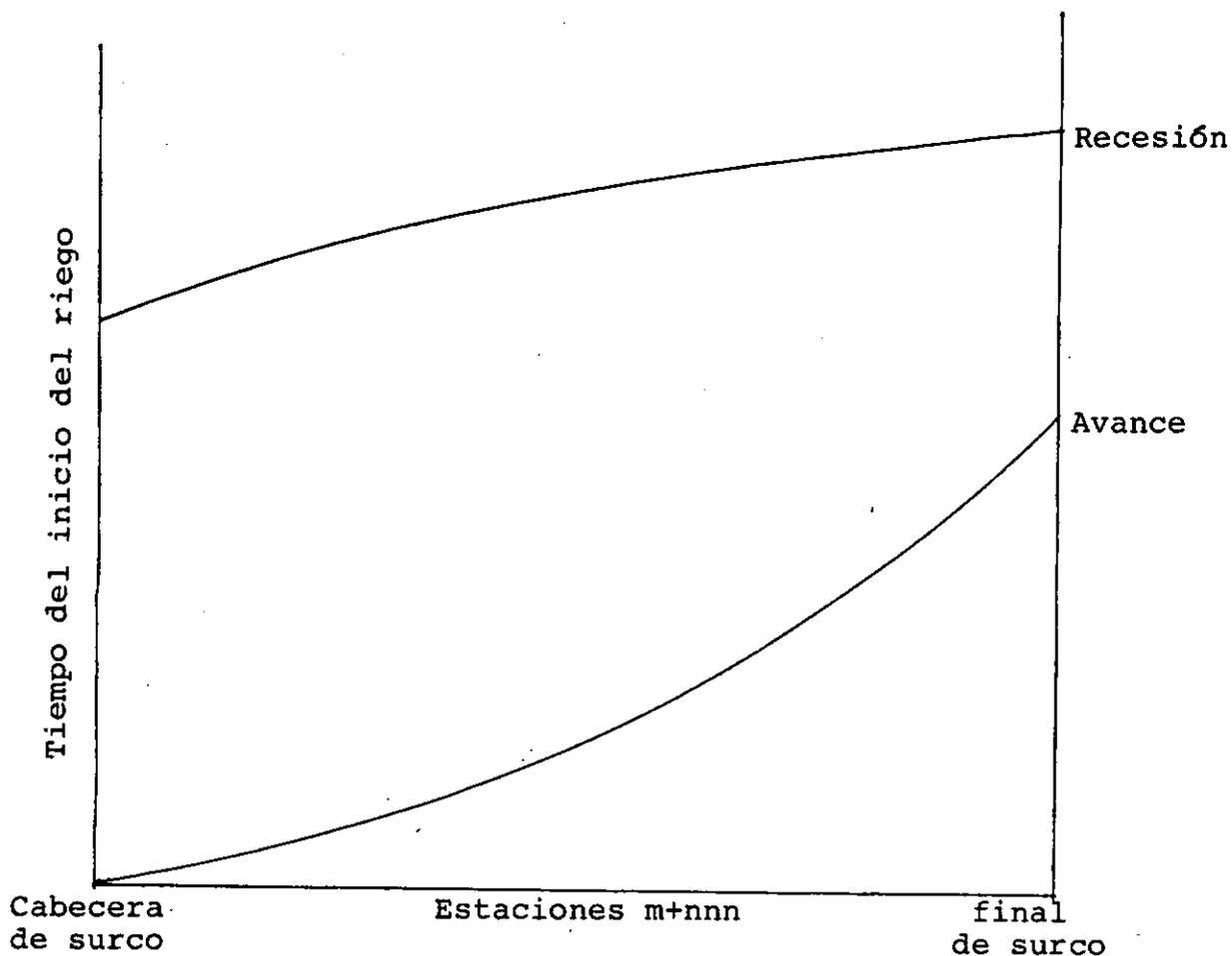


Diagrama a.

Curvas de avance y recesión.

VII. RESULTADOS Y DISCUSION

A. DESCRIPCION GENERAL DE LA METODOLOGIA DE RIEGO EMPLEADA POR LOS USUARIOS DE LA MUESTRA

Los agricultores presentan gran uniformidad en cuanto a sus hábitos de riego. Los terrenos en general son bastante planos (la pendiente media es de cerca de 1%). Riegan con un intervalo que varía de 8 a 15 días, observando algunas características del suelo y del cultivo antes de hacerlo. Es decir que no reciben ninguna asesoría ni asistencia en cuanto a la fecha oportuna de aplicación (aun que creen no necesitarlo). Todos han aprendido a regar de sus antecesores, nunca se ha evaluado su sistema ni se ha establecido cuantitativamente hasta qué punto el riego (como actualmente se maneja) establece una diferencia significativa con la no aplicación del mismo o bien con la aplicación eficiente de éste, ni siquiera por parte de la misma administración de la unidad.

Los administradores y/o propietarios de las plantaciones generalmente contratan "regadores," quienes se encargan de aplicar el agua a los terrenos. Aun que existe una distribución de turnos (calendario) para utilizar el agua en diferentes sectores de la unidad, ésta no es respetada, regando todos cuando creen necesitarlo o bien cuando existe agua disponible en el canal, llegando en algunos casos el exceso de dejar durante la noche entera abierta la compuerta, inundando, además del terreno propio, los caminos y los terrenos vecinos, situaciones ante las cuales se tiene conocimiento por las autoridades pero no control. Algunas veces se hacen arreglos, a nivel de usuarios únicamente, para compartir el agua.

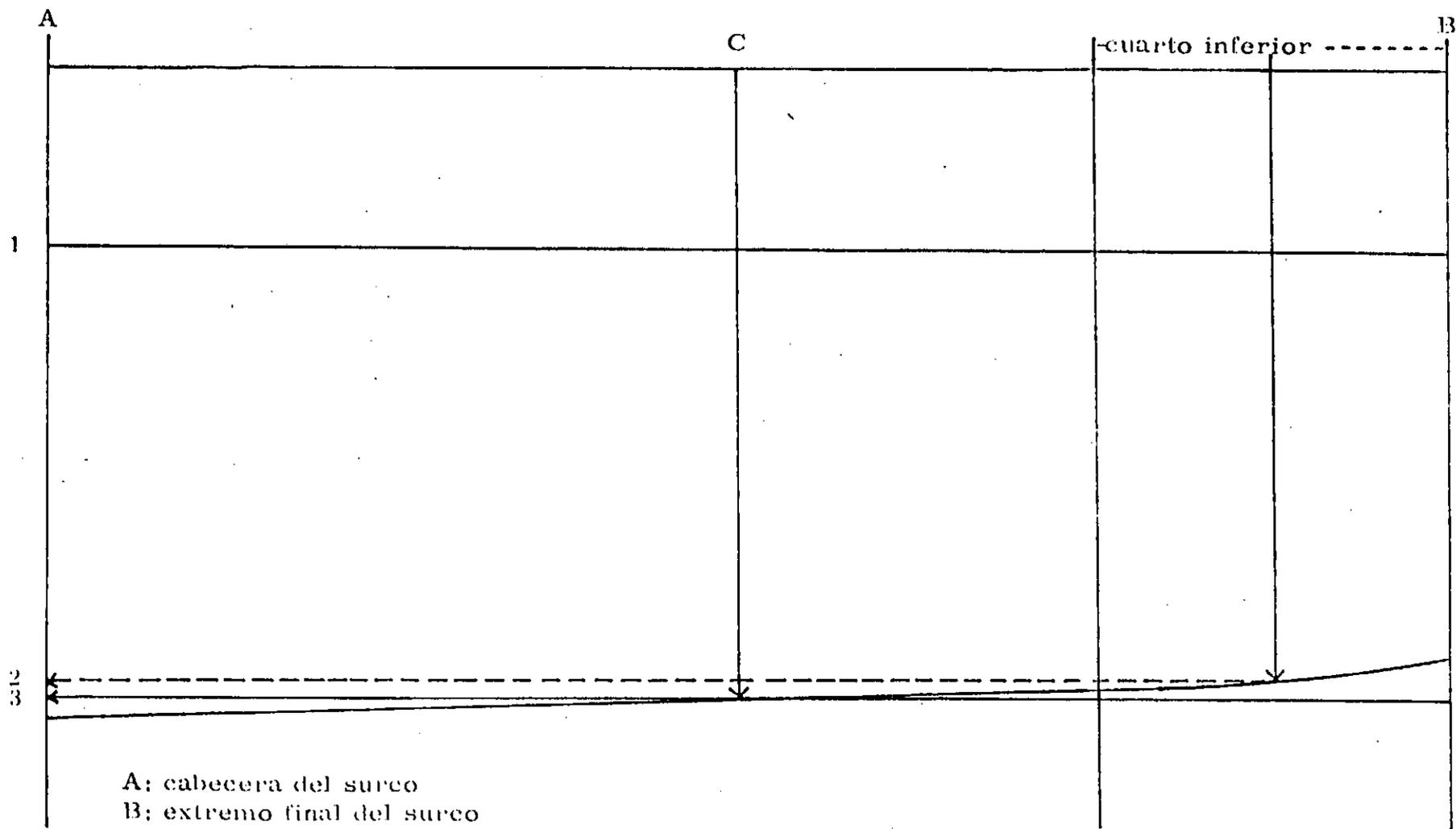
Los citados regadores aplican el agua con la misma técnica en todos los casos. Dejan correr ésta a lo largo del surco y cuando llega al final, suspenden la dotación. Simultáneamente riegan 3 ó 4 surcos, muy rara vez varían estos números. El caudal promedio aplicado, en la muestra, fue de 3.3 lps. Este último varía dependiendo de la cantidad de agua disponible, mientras más hay, más aplican, por supuesto, al mismo número de surcos. Obviamente nunca miden la cantidad de agua vertida, nunca se establece el caudal empleado.

B. RESULTADOS CUANTITATIVOS

1. EFICIENCIA DE APLICACION

La eficiencia de aplicación medida como la relación entre la lámina media aplicada y la lámina requerida, no da en este caso una semblanza real de la eficiencia de aplicación de los agricultores, ya que el 90% de los usuarios incluidos en la muestra (y se estima que la gran mayoría, si no la totalidad, en toda la Unidad) aplican mucha más agua de la que realmente necesitan. Debido a ésto, grandes cantidades de agua se pierden por percolación profunda, como se verá más adelante. En general, los perfiles de humedecimiento muestran la pérdida excesiva por la sobre-lámina aplicada; en la Figura 9, se presenta el perfil promedio de la muestra. En el eje de las abscisas se incluye la distancia en porcentaje de la cabecera del surco y en el eje de las ordenadas, la lámina neta infiltrada. Debido a la gran similitud entre la forma de regar de la mayoría de los agricultores, se puede asumir en este caso un perfil promedio de humedecimiento para la muestra. La sobre-irrigación media fue de 338% (Fig. 9).

FIGURA 9. - Perfil promedio de humedecimiento para los agricultores de la muestra.
UNIDAD DE RIEGO EL RANCHO-JICARO.



A: cabecera del surco

B: extremo final del surco

C: parte central del surco (50%)

1: lámina media requerida - 100% de requerimiento

2: lámina media del cuarto inferior aplicada - 338% de lo requerido

3: lámina media aplicada - 343% de lo requerido

2. UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION

Los terrenos de los usuarios contenidos en la muestra (y en general en toda la unidad), cuentan con pequeñas pendientes (promedio: 0.76%) de tal modo que las velocidades del agua a lo largo del surco son bastante bajas (tanto de avance) como de recesión) y al observar el perfil promedio, el ingreso del agua al suelo, se presenta con gran uniformidad.

El avance es lento, así como la recesión, de tal modo que existe relativamente poca diferencia entre lo infiltrado al principio y lo infiltrado al final del surco. Las pendientes de las curvas de los perfiles de humedecimiento son en general bastante bajas.

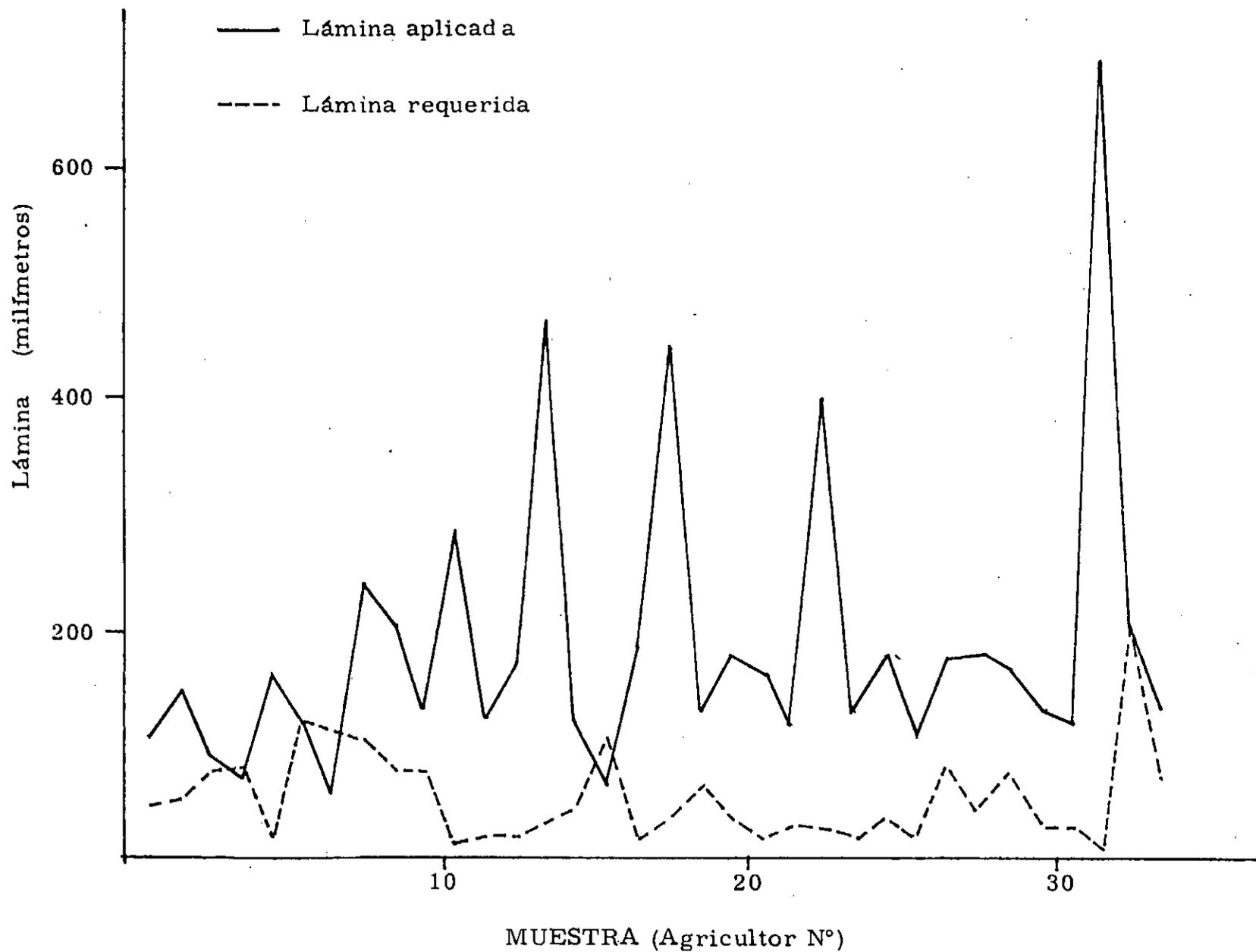
Otro aspecto importante, es la existencia de los llama-gos "regadores," quienes al ser contratados por los responsables de los cultivos, dan gran uniformidad a las técnicas empleadas. Todos ellos aprenden de sus antecesores, por lo que sus métodos son bastante similares.

3. ANALISIS EN RIEGO

La Figura No. 10 presenta, para un riego, la distribución de la lámina requerida contra la realmente aplicada. De las curvas individuales, se aprecia la gran viariabilidad existente entre los usuarios y de la observación conjunta de ambas, se determina los pocos casos en que el requerimiento y aplicación coinciden o se asemejan, paralelo a ésto, se hacen evidentes algunos casos en los cuales la sobre-lámina es excesiva.

Cada riego no solo es similar al resto de riegos (en cuanto a método y oportunidad), sino que es prácticamente igual a los demás de la serie aplicada a los terrenos de cada

FIGURA 10.- UNIDAD DE RIEGO EL RANCHO-JICARO. Lámina aplicada y lámina requerida, para un riego, en las parcelas de la muestra.



agricultor durante la temporada. De esta consideración se origina la curva de aplicación de la Figura No. 11, la que se compara con el requerimiento medio para la temporada de cultivo en la zona (Método Blaney-Criddle, Revisión Bibliográfica, punto 3, apartado "E"), el cual, independientemente de las características edáficas individuales, representa la humedad promedio perdida según las condiciones climáticas del área, la que se puede asumir como requerimiento neto real de riego para el ciclo vegetativo. No se computó la precipitación efectiva caída durante la temporada por ser insignificante (si la relación E_t /precipitación efectiva, es mayor que 7.5, la precipitación es despreciable). En la figura 11 también se observa gran variabilidad y poca coincidencia con los requerimientos estimados, obviamente se esperan fuertes sobre-láminas aplicadas.

Las figuras 10 y 12 dan origen a las 11 y 13 respectivamente, las cuales representan el comportamiento acumulado, para el ciclo completo, de los requerimientos teóricos contra las aplicaciones reales de riego.

El área comprendida entre las curvas de cada gráfica, representa el agua perdida por percolación profunda en cada caso.

C. RESULTADOS CUALITATIVOS

1. De la infraestructura

El sistema de derivación fue recientemente modificado, de las toberas que captaban el agua del fondo del río, con la consiguiente alta entrada de sólidos, a un sistema de captación por ingreso superior, en el que se tomaban únicamente los filetes superficiales del flujo. La condición inicial traía consigo altos niveles de azolve en los canales principal y secundario, disminuyendo así la disponibilidad de los

FIGURA 11. - UNIDAD DE RIEGO EL RANCHO-JICARO. Lámina acumulada aplicada y requerida para un riego, en las parcelas de la muestra.

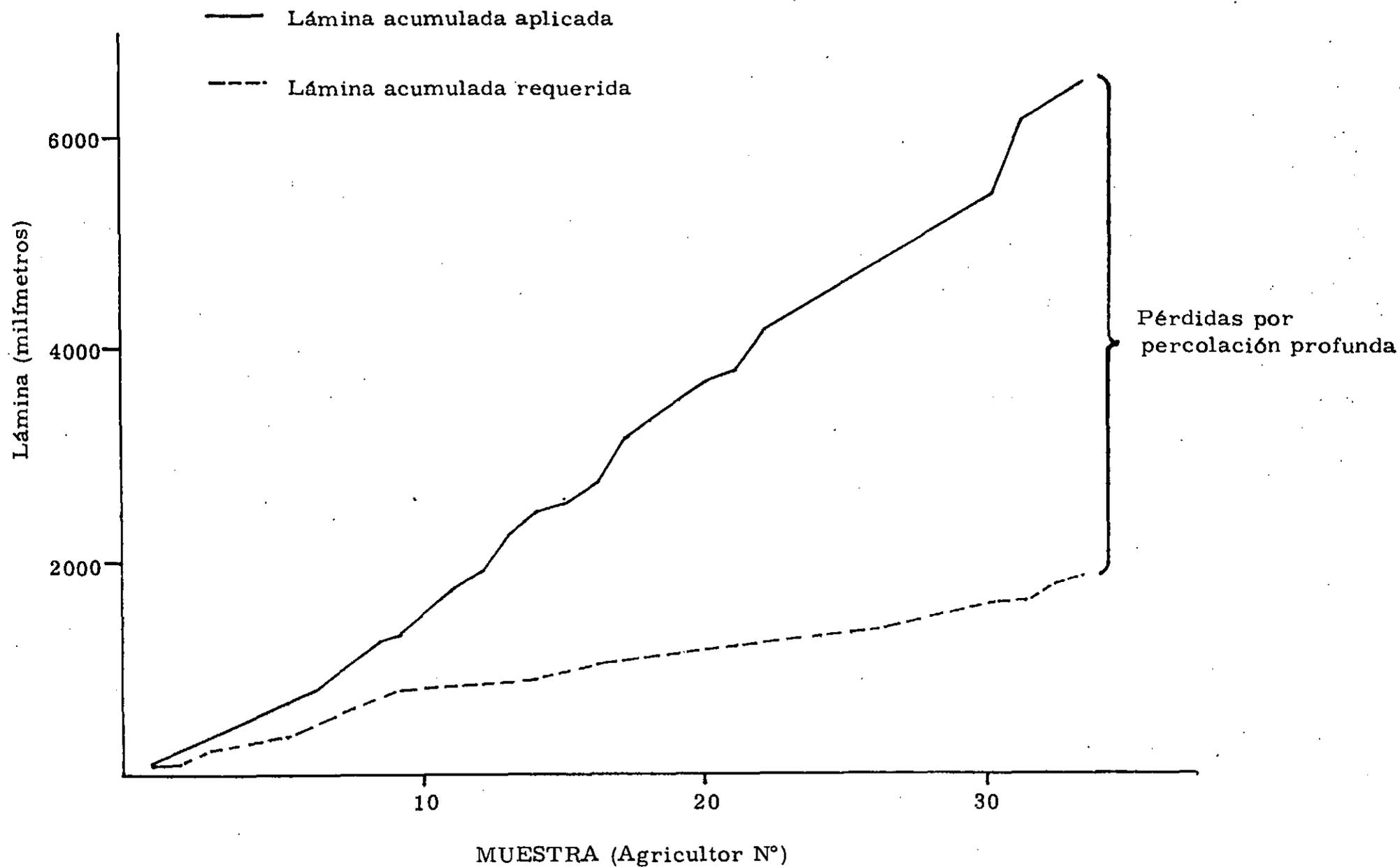


FIGURA 12- UNIDAD DE RIEGO EL RANCHO-JICARO. Lámina total aplicada y requerida para el ciclo completo, en las parcelas de la muestra.

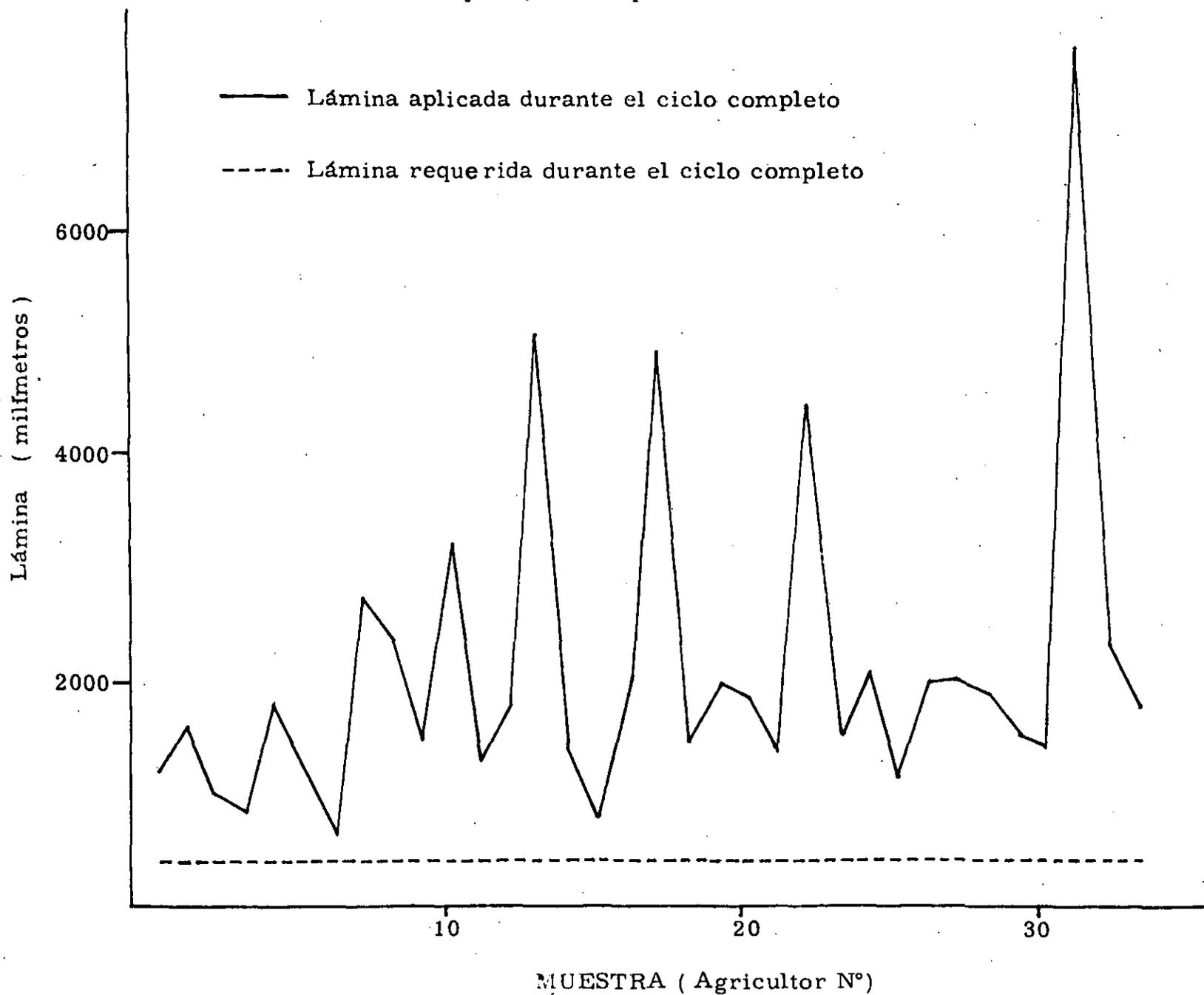
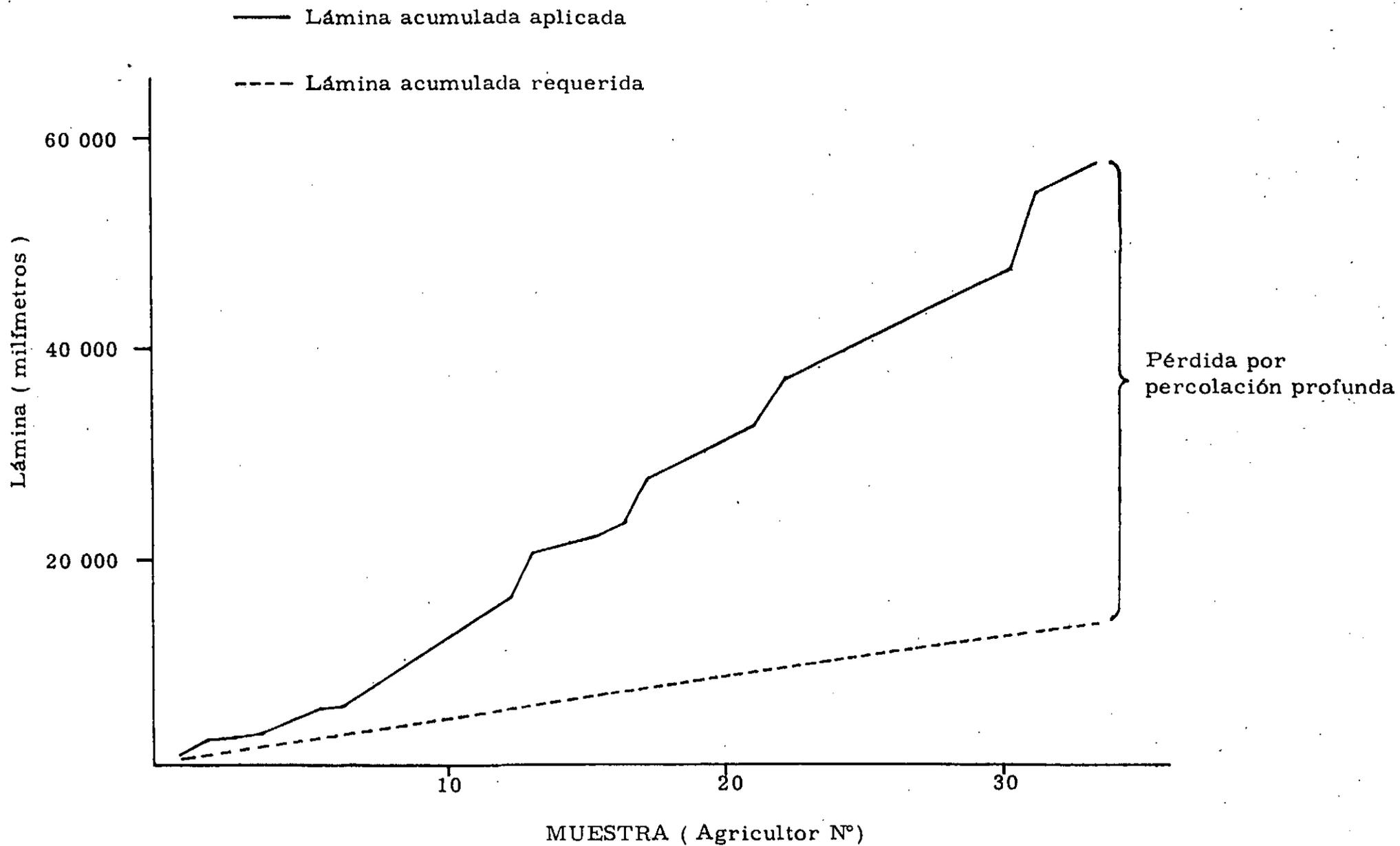


FIGURA 13. - UNIDAD DE RIEGO EL RANCHO-JICARO. Lámina acumulada total aplicada y requerida para todo el ciclo de cultivo, en las parcelas de la muestra.



extremos de la unidad, con el nuevo sistema se transportan sólidos en mucha menor cantidad (Tobar 1982); no obstante, aún funciona una de las toberas iniciales debido a la escasez de fondos para sus modificación al nuevo sistema. Existe además, una estructura supuestamente para la deposición de los sólidos, sin embargo, su funcionamiento es bastante deficiente. Además, el actual tirante de agua no genera el caudal suficiente para suplir la demanda.

Existen condiciones, como en este caso las crecidas del río Motagua (de donde deriva el agua para la unidad), que no pueden ser evitadas desde el punto de vista de la unidad. Dichas crecidas azolvan tremendamente los canales.

El área de diseño dista mucho del área efectivamente servida quedando grandes extensiones sin el beneficio del recurso hídrico por parte de la unidad (sólo se ha alcanzado a cubrir el 54%). Se pudo detectar que las dos causas básicas de dicho problema son: el azolve y el excesivo desperdicio de agua por los usuarios, el cual incluye el gran desorden existente en cuanto a la dotación y manejo del agua a nivel de finca; como ya se mencionó el problema del azolve estaría virtualmente solucionado, no así el segundo agravante.

El servicio de transporte y distribución de agua no cuesta un solo centavo a los usuarios del sistema.

2. De los Servicios Paralelos

Además de la propia infraestructura de conducción, distribución sectorial y mantenimiento de canales, la unidad cuenta con un laboratorio de suelos bastante completo, el cual podría prestar grandes servicios a los agricultores tanto

en análisis directos como en estudios que redundarían en el beneficio de los mismos. Actualmente su utilización está limitada a algunas actividades de DIRENARE y de la misma unidad.

La unidad no cuenta actualmente con equipo de análisis meteorológico, lo cual es vital en la estimación de los parámetros del requerimiento de riego.

No se presta ningún tipo de asistencia técnica, tal como se verá más adelante, en cuanto a la metodologías de riego, no se afora el caudal aplicado por los usuarios.

3. De la Infraestructura Socioeconómica

La unidad no cuenta con ningún tipo de organización agrícola campesina (cooperativas de distribución de insumos y venta de productos) no obstante la actividad agrícola de toda la unidad es bastante uniforme.

4. Resultados de la Encuesta

Debido a la estructura de la boleta (ver apéndice) se pueden obtener resultados en cuatro grandes áreas:

Preguntas 1 a 3: Experiencia en riego

Preguntas 4 y 5: Preparación del terreno para riego

Preguntas 6 a 17: Manejo de riego, y

Preguntas 18 a 23: Asistencia técnica en riego

4.1 Experiencia en riego:

Todos los entrevistados en la muestra han tenido alguna experiencia en el manejo del riego, aunque el rango es bastante amplio, desde 5 hasta 25 años. No obstante no han superado sus propias técnicas, tampoco las han evaluado, ni

ensayado otras. Sus limitados conocimientos en este campo han sido pobremente incrementados por su propia práctica de la actividad. El sistema empleado por la totalidad de los entrevistados y por la totalidad de usuarios de la unidad (ver Revisión Bibliográfica, apartado "A") es el riego superficial por surcos, conocen otros sistemas pero nunca los han empleado.

4.2 Preparación del terreno para riego:

El área bajo estudio es en su mayoría bastante plana. El sistema de riego superficial por surcos precisa ciertas características (pendiente, microrrelieve) que permitan el aprovechamiento óptimo del agua aplicada (ver Revisión Bibliográfica, sección 2.5, apartado "D").

Dentro de la muestra el 90% trazan sus surcos por sí mismos, tratando de darles cierta pendiente, cuyo valor desconocen y haciéndolo por tanteo, sin considerar previamente el relieve general del terreno.

En cuanto a la nivelación cerca de la totalidad de los entrevistados, el 95% no la practica y, de la prequeña fracción que sí lo hace, unos pocos son atendidos por la unidad de riego, mientras que el resto nivela por sí mismos.

4.3 Manejo del Riego

Ninguno de los entrevistados expresó medir la cantidad de agua que aplica al terreno, es decir, que desconocen los volúmenes que emplean, así como las técnicas para medirlos, incluso las más elementales.

En cuanto a la proveniencia del agua, dentro de los entrevistados, una tercera parte (34%) se ven obligados a bombear el agua desde el canal, debido a que sus terreno se encuentran a mayor altura que éste, empero del 100% del área regada en la unidad, únicamente un 25% de la misma se encuentra en esas condiciones.

El fluído al llegar al terreno es empleado para regar de 3 a 4 surcos simultáneamente (promedio 4). En ningún caso se emplean sifones para hacerlo. Una vez aplicada el agua al surco, ésta es detenida cuando el frente húmedo llega al final del mismo, en algunos casos un poco antes y en otros un poco después, todo depende del criterio del regador. Ninguno presentó escorrentías de cola, no obstante la tendencia general es de encausar los excesos, cuando se presentan, a los caminos. Todos argumentaron no producir desagües ni tener erosión en sus surcos.

La aplicación de los riegos se hace con intervalos casi constantes de 8 días, al aproximarse el período de cosecha, éstos intervalos son ampliados o bien ya no se riega, se determinó un promedio, con muy poca variabilidad, de 11 riegos por temporada o ciclo de cultivo.

Debido a la presencia de la unidad ningún entrevistado emplea agua de pozo, por lo que no conocen la profundidad a la que se encuentra el nivel freático.

4.4. Asistencia técnica en riego:

Los entrevistados expresaron no recibir ninguna asistencia en cuanto al manejo del riego, no obstante ser todos beneficiarios de la unidad. Fuera de unos pocos que reciben asesoría en nivelación.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se acepta la hipótesis planteada, en el sentido del mal manejo del agua por los usuarios de la Unidad de Riego El Rancho-Jícaro, debido a que se determinó sobre-irrigación. El promedio de sobre-lámina aplicada fue de 338% con respecto a lo requerido.
2. La pérdida principal de agua a nivel de finca se debe a percolación profunda; las inundaciones de caminos y otras áreas no cultivadas son provocadas principalmente por escorrentía superficial proveniente de la mala conducción por parte de los usuarios.
3. Los agricultores de la muestra presentan gran similitud en cuanto a sus métodos y técnicas de riego, tienen tiempo de regar, continúan empleando sus hábitos tradicionales en esa actividad; por no estar sujetos a ningún calendario en la utilización del agua, la toman cuando tienen la oportunidad y/o creen necesitarla.
4. El caudal aplicado a los terrenos está determinado básicamente por la oportunidad de utilización del recurso, representado por el nivel de agua en los canales y/o arreglos estrictamente personales con otros usuarios.
5. Los perfiles de humedecimiento presentan gran uniformidad debido a las generales bajas velocidades de avance y recesión obtenidas, lo que define gran uniformidad en la distribución del agua en el perfil.
6. Existe desconocimiento por parte de los ejecutores del riego de las condiciones de humedad de sus terrenos

y cultivos al momento del riego, por lo que lo aplican en la mayoría de los casos inoportunamente.

7. El laboratorio de la unidad no presta actualmente ningún servicio directo para orientar el manejo del riego por los agricultores, lo que los lleva a desconocer las características específicas de sus terrenos, relacionadas y no relacionadas con el riego (características físicas y químicas).
8. La pérdida de agua debido a los excesos de aplicación disminuye la disponibilidad de ésta en los extremos de los canales de conducción y distribución.
9. La ausencia de equipo metereológico en la unidad impide establecer satisfactoria y precisamente los parámetros climatológicos para estimar los requerimientos específicos de riego.
10. La falta de nivelación y preparación de la superficie del terreno para el riego, altera las velocidades de avance y recesión produciendo acumulaciones indeseables de agua en los surcos.
11. La ausencia total de aforo a nivel de parcela determina el poco control que se tiene sobre los volúmenes aplicados o que se desean aplicar, tanto desde el punto de vista del usuario, como de los administradores de la unidad.
12. El principal causante del mal manejo del agua por parte de los usuarios es la escasa o ausente asistencia técnica por parte de la Unidad. No obstante, lo anterior está fuertemente afectado por problemas de tipo presupuestario.

13. La no existencia de ningún tipo de organización de productores por parte de los usuarios, afecta sus intereses económicos y coarta su participación como grupo en actividades comerciales.

IX. RECOMENDACIONES

1. Mejorar el actual sistema de derivación.
2. Establecer un sistema tarifario por área sembrada y cultivo que permita a la administración de la unidad contar con más fondos para mejorar y diversificar los servicios al agricultor, además hará conciencia en el usuario sobre un manejo racional del agua.
3. Establecer calendarios de actividades en riego por cultivo para prestar asistencia técnica oportuna y eficiente (mejorar o crear un sistema de planificación).
4. Instalar una estación metereológica que pueda contar con el equipo más elementar, económico y de fácil construcción: evaporímetro (tanque tipo "A"), termómetro diferencial, pluviómetro y psicrómetro.
5. Evaluar las ecuaciones existentes para la determinación de la evapotranspiración, contra medidas hechas directamente en el campo y establecer cuál se ajusta más a las condiciones de la zona (para el presente trabajo se empleó el modelo Blaney-Criddle y arrojó para tabaco un total de 400 mm de evapotranspiración. Según FAO, Paper No. 24, este cultivo presenta un requerimiento total de 300 a 500mm., i.e., una media de 400mm, lo que implica buena correlación con el resultado de dicho modelo).
6. Establecer calendarios de riego para cada cultivo y determinar las láminas apropiadas a aplicar, formulando un esquema de uso del agua que trate de ajustarse a los requerimientos específicos de los usuarios y sus cultivos.

7. Poner a la disposición de los agricultores el laboratorio de la Unidad para análisis físicos y químicos y su interpretación. Haciendo obligatorios los análisis de las constantes de humedad para riego a un precio mínimo y poder así diagnosticar individualmente los requerimientos específicos de agua.
8. Hacer obligatoria la agrupación de los usuarios en cooperativas, explotando a los líderes locales para facilitar la asistencia técnica, fortaleciendo así la capacidad del agricultor para competir en las ventas de sus productos y la adquisición de insumos.
9. Impartir cursillos sobre el manejo del agua, proporcionando los conceptos básicos sobre el tema, haciendo prácticas de campo, resaltando los efectos negativos de la sobre-irrigación y el peligro de la salinidad.
10. Que todas las obras de conducción a nivel de parcela sean supervisadas por técnicos de la Unidad para evitar deficiencias en esta práctica.
11. Diseñar y supervisar los trabajos topográficos de nivelación de las parcelas que lo requieran.
12. Hacer evaluaciones periódicas del adecuado manejo del agua por los agricultores.
13. Para el establecimiento del sistema tarifario se hará un registro detallado de usuarios, comprometiéndolos a cumplir con los requerimientos técnicos expuestos en las recomendaciones anteriores, bajo

el entendido de que ser beneficiario de la unidad es un derecho con el que se contraen una serie de obligaciones (que hasta la fecha no se han exigido), con el agravante de que el gobierno podría ceder totalmente el manejo, administración y mantenimiento de la unidad a los usuarios de la misma. Para todo ésto se buscará inicialmente el apoyo de los líderes locales.

X. REFERENCIAS

1. BISHOP, A.A. Manejo del agua a nivel de finca. Utah. Universidad del Estado. Centro Internacional de Riegos, 1974. 17p.
2. DOORENBOS, J. et al. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudios de Riego y Drenaje, Boletín no. 33. 1979. 212p.
3. FORSYTHE, W. Manual de laboratorio de física de suelo. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1974. 212p.
4. GUATEMALA, DIRECCION DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. Proyecto de El Jicaro. Guatemala, 1967. p. irr.
5. _____. Boletín Estadístico no. 8. Guatemala 1980. 102 p.
6. _____. Proyecto de consolidación de la unidad de riego El Rancho-Jicaro. Guatemala, 1981. 173p.
7. HACHUM, A.Y. y ALFARO, J.F. A physically based model of water infiltration in soils. Utah, University, Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 505, 1980. 31p.

8. ISRAEISEN, O.W. y HANSEN, V.E. Principios y aplicaciones del riego. Trad. de la 3 ed. en inglés por Alberto García Palacios. 2 ed. Barcelona, España, Reverté, 1975. 396p.
9. MENDEZ MERIDA, J.A. Evaluación del desarrollo agrícola en la unidad de riego El Rancho-Jícara. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1979. 89p.
10. MERRIAM, J.L., KELLER, J. and ALFARO, J.F. Irrigation system evaluation and improvement. Utah, University, Water Research Laboratory, 1973. 89p.
11. MEXICO, SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS, DIRECCION DE ESTADISTICA Y ESTUDIOS ECONOMICOS. Sobre las eficiencias de riego. Memorandum Técnico no.350, 1976. 48p.
12. SALAZAR, L. Estructuras típicas para conducir y controlar el agua de riego a nivel de parcela o grupo de parcelas. Utah, Universidad del Estado, Centro Internacional de Riegos, 1981. 113p.
13. SPENCER, B.A. Informe final sobre el programa de consultoría en planificación socio-económica. Guatemala, Programa de Cooperación Técnica Guatemala-BID, 1974. 63p.
14. STAKMAN, W.P. Métodos de determinación de la humedad del suelo. Wageningen, The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Principios y Aplicaciones del Drenaje, publicación no. 16. s.p.

15. STREETER, V.L. Mecánica de fluidos. Traducido de la 1 ed. en inglés por José Seffas Domínguez. 2 ed. Masris, España, McGraw-Hill, 1963. 486p.
16. US. SOILS CONSERVATION SERVICE. ENGINEERING DIVISION. Irrigation water requirements. Technical Release no. 21, 1967. 88p.
17. _____. Manual de ingeniería de suelos; medición del agua de riego. México, Diana, 1975. 86p. (Colección Ingeniería de Suelos, no. 5)

Vo. Bo.
Señal Ramírez



ANEXOS

ENCUESTA SOBRE CONOCIMIENTOS Y PREPARACION EN RIEGOGENERALIDADES

FECHA: _____

CLAVE: _____

Nombre del agricultor: _____

Area de la finca: _____

Area bajo explotación: _____

Area bajo riego: _____

CULTIVOS

| | Cultivos bajo explotación | Area | Fecha de siembra | qq/mz Rendimiento | No. de riegos por temporada |
|----|---------------------------|------|------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1. | | | | | |
| 2. | | | | | |
| 3. | | | | | |
| 4. | | | | | |

ADiestRAMIENTO Y CONOCIMIENTOS TECNICOS

1. ¿Qué experiencia ha tenido en riego?

Nada _____ Poco _____ Algo _____ Mucho _____

¿Dónde? _____

¿Desde cuándo maneja el riego? _____

2. ¿Considera usted que sus conocimientos técnicos del uso del agua han aumentado desde que empezó a usar el riego?

Nada _____ Poco _____ Algo _____ Mucho _____

Si han aumentado ¿en qué forma?

Cursillos _____ Asesoría directa _____

Visitas demostrativas _____ Propia experiencia _____

Otras _____

3. ¿Qué sistemas de riego conoce?

a. Inundación lo conoce: _____ lo usa: _____

- b. Melgas lo conoce: _____ lo usa: _____
- c. Surcos lo conoce: _____ lo usa: _____
- d. Aspersión . . . lo conoce: _____ lo usa: _____
- e. Otros _____

4. Si usa melgas o surcos:

¿Quién y cómo se trazaron?

- _____ los trazó Recursos Hidráulicos
- _____ un promotor o un extensionista
- _____ usted mismo
- Otros: _____

Si usted mismo los trazó ¿cómo lo hizo?

- _____ en la dirección en que baja el terreno
- _____ en la dirección que no hay desnivel
- _____ en la dirección en que hay un poco de desnivel

5. ¿Quién le niveló el terreno para el riego?

- _____ Recursos Hidráulicos
- _____ empresa privada
- _____ usted mismo

6. ¿Conoce el volumen de agua que utiliza para riego? Si ___ No ___
 Si lo conoce ¿es por apreciación visual? _____, lo mide _____
 Si lo mide, ¿cómo lo mide? _____

7. ¿De dónde proviene el agua que utiliza para riego?

- _____ equipo de bombeo
- _____ lo toma del canal por gravedad
- Otros _____

8. ¿Cuántos surcos riega simultáneamente? _____

9. ¿Utiliza sifones? _____ ¿De cuántas pulgadas? _____

10. ¿Cómo sabe usted en qué momento cerrar el agua de un surco?
Cuando el agua llega a la mitad del surco _____
Poco antes de llegar al final _____
Cuando llega al final _____
Después de desaguar _____ a cuántos minutos _____
Otros _____
11. ¿Se empozó el agua en partes del surco? _____ ¿Por qué? _____

12. ¿Hacia dónde vierte los desagües (colas)?
Hacia la quebrada _____
Al terreno vecino _____
A otro canal de riego _____
Otros _____
13. ¿Qué cantidad de desagüe produce?
Nada _____ Muy poco _____ Regular _____ Mucho _____
(más del 30% de lo que ingresa al terreno).
14. ¿Se han formado zanjales en canales o desagües de su terreno?

15. ¿Cómo decide cada cuántos días regar?
Por el turno que le fija el calendario del Distrito _____
Según el cultivo a regar _____
Según la humedad del suelo _____
Según el grado de marchitez de la planta _____
Según el clima (temperatura) _____
Otros _____
16. ¿A qué profundidad se encuentra el agua subterránea? _____
¿Le produce problemas el agua poco profunda en algún lugar?

17. ¿Qué entidades públicas o privadas existen aquí en la localidad más cercada para dar ayuda técnica al agricultor?

18. De los promotores agrícolas ¿cuántas visitas tiene al mes? _____ ¿al año? _____

19. Si reciben visitas de los promotores, ¿reciben asesoría en riego por parte de ellos? _____

20. ¿Les proporcionan programas o planes de riego para cada cultivo? _____

21. ¿En qué medida siguen los consejos de los promotores en riego?

Siempre _____ La mayoría de las veces _____
Pocas veces _____ Nunca _____

22. ¿En qué medida le han sido útiles los consejos de los promotores en cuanto a riego?

Mucho _____ Regular _____
Poco _____ Nada _____

Observaciones: _____

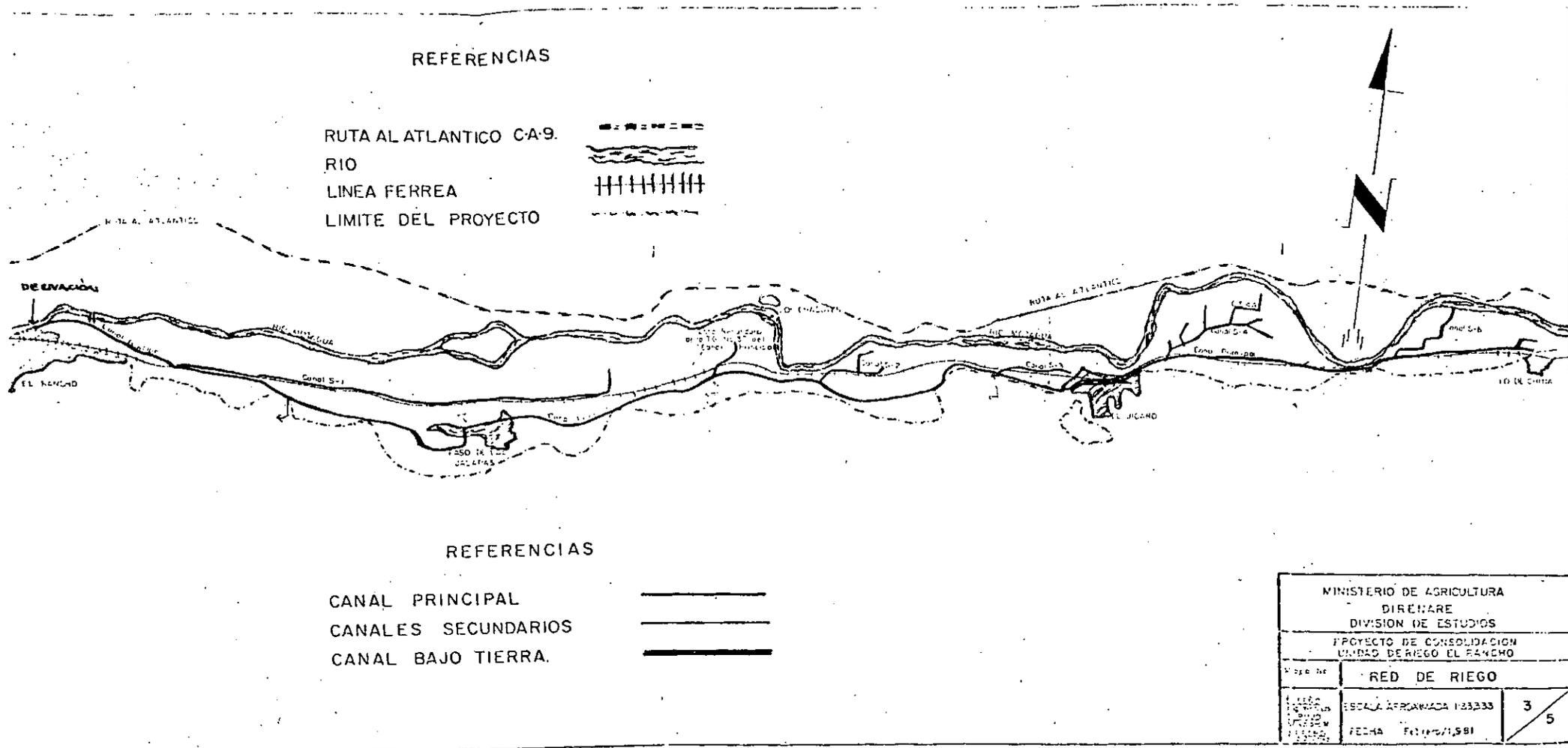


FIGURA A.- Distribución de los canales principal y secundarios en la Unidad de Riego El Rancho-Jicaro. Administrativamente, el canal principal esta seccionado en 5 partes cada una de las cuales esta a cargo de un funcionario del departamento de estadística residente en la localidad. Utilizando los listados de usuarios de cada tramo, se seleccionó en forma aleatoria la muestra a analizar, es decir que de cada uno de los cinco sectores se seleccionaron al azar 7 agricultores; de esta forma la muestra quedó correctamente distribuida a lo largo de toda la Unidad.

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS Y RIEGOS ANALIZADOS

| No. Usuario | Pendiente % | Caudal lps | Largo Surco, m. | Cap. Campo % ⁽¹⁾ | Punto March.P. % ⁽¹⁾ | DAP ⁽¹⁾ gr/cc |
|-------------|-------------|------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 1 | 0.80 | 2.13 | 81.5(i) | 41.30 | 26.22 | 1.076 |
| 2 | 0.40 | 1.53 | 16.0(i) | 20.60 | 11.01 | 1.424 |
| 3 | 0.75 | 2.13 | 82.5 | 14.98 | 6.57 | 1.309 |
| 4 | 0.70 | 2.78 | 44.0(i) | 21.59 | 9.54 | 1.236 |
| 5 | 1.00 | 2.98 | 58.0(i) | 30.01 | 17.59 | 1.201 |
| 6 | 1.00 | 1.53 | 68.0(i) | 24.64 | 9.93 | 1.235 |
| 7 | 0.80 | 3.24 | 36.5 | 30.36 | 13.67 | 1.033 |
| 8 | 0.80 | 3.84 | 75.0 | 28.25 | 11.93 | 1.128 |
| 9 | 0.60 | 4.15 | 76.5(i) | 22.94 | 10.78 | 1.188 |
| 10 | 0.70 | 1.99 | 44.0(i) | 41.78 | 26.86 | 1.091 |
| 11 | 0.80 | 4.70 | 73.0(i) | 14.98 | 6.38 | 1.118 |
| 12 | 0.60 | 2.50 | 100.0(i) | 43.61 | 27.70 | 1.106 |
| 13 | 0.85 | 2.79 | 35.0(i) | 33.12 | 22.32 | 1.189 |
| 14 | 0.90 | 5.39 | 40.0(i) | 25.42 | 14.32 | 1.073 |
| 15 | 0.80 | 2.74 | 66.5(i) | 26.35 | 12.33 | 1.404 |
| 16 | 0.50 | 3.35 | 61.6(i) | 27.44 | 10.11 | 1.200 |
| 17 | 0.76 | 4.62 | 117.5(i) | 36.95 | 19.16 | 1.152 |
| 18 | 0.80 | 6.80 | 217.0(i) | 35.96 | 16.50 | 1.170 |
| 19 | 0.80 | 2.50 | 65.0(i) | 17.11 | 7.61 | 1.163 |
| 20 | 0.70 | 3.16 | 75.0(i) | 49.49 | 30.02 | 1.080 |
| 21 | 0.75 | 2.91 | 35.0(i) | 18.25 | 9.13 | 1.163 |
| 22 | 1.00 | 2.58 | 24.0(i) | 28.50 | 10.94 | 1.091 |
| 23 | 0.89 | 5.27 | 40.0 | 18.33 | 6.49 | 1.202 |
| 24 | 0.90 | 4.04 | 75.0(i) | 17.76 | 6.82 | 1.218 |
| 25 | 0.68 | 4.21 | 75.0 | 44.44 | 27.15 | 1.059 |
| 26 | 0.80 | 2.06 | 65.0(i) | 17.27 | 8.14 | 1.217 |
| 27 | 0.80 | 2.91 | 75.0 | 21.11 | 11.08 | 1.275 |
| 28 | 0.70 | 3.49 | 58.5(i) | 27.20 | 9.63 | 1.265 |
| 29 | 0.80 | 2.50 | 95.6(i) | 19.36 | 9.23 | 1.193 |
| 30 | 0.70 | 2.58 | 37.5(i) | 25.46 | 12.73 | 1.244 |
| 31 | 0.75 | 2.227 | 102.5 | 21.47 | 10.00 | 1.400 |
| 32 | 1.00 | 7.32 | 112.0(i) | 28.09 | 13.47 | 1.165 |
| 33 | 0.65 | 3.64 | 85.0(i) | 49.06 | 33.83 | 1.160 |
| 34 | 0.60 | 2.35 | 83.0 | 22.63 | 9.27 | 1.072 |

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS Y RIEGOS ANALIZADOS

INFILTRACION

Parámetros empíricos de la infiltración
acumulada: $D = At^B$ (2)

| No. | A | B | Humedad Previa, % (3) |
|-----|--------|-------|-----------------------|
| 1 | 0.1180 | 0.455 | 32.20 |
| 2 | 0.0398 | 0.636 | 11.73 |
| 3 | 0.2207 | 0.714 | 2.92 |
| 4 | 0.5792 | 0.521 | 8.10 |
| 5 | 0.2270 | 0.670 | 26.28 |
| 6 | 4.4380 | 0.200 | 4.69 |
| 7 | 0.3880 | 0.715 | 8.32 |
| 8 | 0.3780 | 0.211 | 8.94 |
| 9 | 0.0550 | 0.783 | 10.13 |
| 10 | 0.2770 | 0.812 | 28.13 |
| 11 | 0.1800 | 0.777 | 12.74 |
| 12 | 0.2770 | 0.723 | 39.72 |
| 13 | 0.4400 | 0.794 | 29.35 |
| 14 | 0.2620 | 0.555 | 18.51 |
| 15 | 0.1440 | 0.655 | 19.12 |
| 16 | 0.1270 | 0.666 | 9.19 |
| 17 | 0.4500 | 0.189 | 32.29 |
| 18 | 0.0800 | 0.562 | 29.35 |
| 19 | 0.5160 | 0.730 | 5.49 |
| 20 | 0.0980 | 0.684 | 42.30 |
| 21 | 0.2280 | 0.661 | 14.57 |
| 22 | 1.1920 | 0.724 | 13.79 |
| 24 | 0.1180 | 0.620 | 14.65 |
| 25 | 0.2570 | 0.905 | 36.14 |
| 26 | 0.3890 | 0.831 | 13.86 |
| 27 | 0.3250 | 0.670 | 26.97 |
| 28 | 0.0930 | 0.720 | 18.93 |
| 29 | 1.3400 | 0.676 | 6.40 |
| 30 | 0.2210 | 0.725 | 19.98 |
| 31 | 0.4680 | 0.692 | 16.13 |
| 32 | 3.5220 | 0.081 | 26.68 |
| 33 | 0.6930 | 0.344 | 14.55 |
| 34 | 0.3440 | 0.445 | 9.38 |

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS Y RIEGOS ANALIZADOS

(3) HUMEDAD DESPUES DEL RIEGO, DOS PROFUNDIDADES

| No. | Profundidad 30 cm (4) | | | | Profundidad 60 cm (4) | | | |
|-----|-----------------------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|
| | 1° | 2° | 3° | 4° | 1° | 2° | 3° | 4° |
| 1 | 39.38 | 42.74 | 50.45 | 43.70 | 44.29 | 38.82 | 11.77 | 31.51 |
| 2 | 19.01 | 19.56 | 18.21 | 19.81 | 17.62 | 19.25 | 18.76 | 18.84 |
| 3 | 19.60 | 14.49 | 11.98 | 12.10 | 13.82 | 8.48 | 6.22 | 4.14 |
| 4 | 21.00 | 18.88 | 17.23 | 13.13 | 18.42 | 15.93 | 14.28 | 14.90 |
| 5 | 29.37 | 33.12 | 32.15 | 31.88 | 28.44 | 32.39 | 30.45 | 23.28 |
| 6 | 20.02 | 20.41 | 18.89 | 18.49 | 22.02 | 19.88 | 20.55 | 20.22 |
| 7 | 33.01 | 38.78 | 28.42 | 27.89 | 30.10 | 32.30 | 18.69 | 13.86 |
| 8 | 35.93 | 36.67 | 29.78 | 28.07 | 34.00 | 30.63 | 25.41 | 19.42 |
| 9 | 21.44 | 20.99 | 18.05 | 17.31 | 18.75 | 21.70 | 20.72 | 19.35 |
| 10 | 31.23 | 39.69 | 29.75 | 28.03 | 32.40 | 30.09 | 30.57 | 29.81 |
| 11 | 15.58 | 16.04 | 15.87 | 14.58 | 15.85 | 16.11 | 15.52 | 14.20 |
| 12 | 46.38 | 45.90 | 45.00 | 44.12 | 39.88 | 39.92 | 35.90 | 34.50 |
| 13 | 30.61 | 42.85 | 43.59 | 31.31 | 36.24 | 29.81 | 33.02 | 25.17 |
| 14 | 27.79 | 32.46 | 25.37 | 25.96 | 28.68 | 26.86 | 28.25 | 23.24 |
| 15 | 27.25 | 28.73 | 13.97 | 27.72 | 23.37 | 24.88 | 52.14 | 36.89 |
| 16 | 26.27 | 28.61 | 25.46 | 30.86 | 32.10 | 26.17 | 22.55 | 24.21 |
| 17 | 36.55 | 29.84 | 34.95 | 33.22 | 32.92 | 39.17 | 28.02 | 35.55 |
| 18 | 39.41 | 42.23 | 39.39 | 42.53 | 39.79 | 24.19 | 27.19 | 25.86 |
| 19 | 19.79 | 16.56 | 16.72 | 16.03 | 18.28 | 16.87 | 13.77 | 19.50 |
| 20 | 50.18 | 48.48 | 42.88 | 47.31 | 49.02 | 45.58 | 45.88 | 45.07 |
| 21 | 17.34 | 29.46 | 23.70 | 18.03 | 27.31 | 26.17 | 28.15 | 27.29 |
| 22 | 27.88 | 30.95 | 32.52 | 36.56 | 29.18 | 27.46 | 33.69 | 32.81 |
| 23 | 18.27 | 19.20 | 19.76 | 19.02 | 27.09 | 17.50 | 17.00 | 21.05 |
| 24 | 18.81 | 16.09 | 15.74 | 20.65 | 18.51 | 17.41 | 13.31 | 16.30 |
| 25 | 42.54 | 41.62 | 39.20 | 39.52 | 31.43 | 29.75 | 29.59 | 29.12 |
| 26 | 29.09 | 18.05 | 18.21 | 27.51 | 39.32 | 32.32 | 20.21 | 26.83 |
| 27 | 26.97 | 28.48 | 23.14 | 22.07 | 23.60 | 21.62 | 18.09 | 16.00 |
| 28 | 28.49 | 24.51 | 24.44 | 49.73 | 35.44 | 36.68 | 29.40 | 6.11 |
| 29 | 16.21 | 22.23 | 20.25 | 20.47 | 18.25 | 20.94 | 20.27 | 20.27 |
| 30 | 26.29 | 27.22 | 28.08 | 20.84 | 24.80 | 14.22 | 8.80 | 25.55 |
| 31 | 21.77 | 20.19 | 19.26 | 19.93 | 19.95 | 19.13 | 17.54 | 13.69 |
| 32 | 24.83 | 25.64 | 25.34 | 24.01 | 23.10 | 23.01 | 21.35 | 25.82 |
| 33 | 53.93 | 47.01 | 47.12 | 24.54 | 28.67 | 37.08 | 43.71 | 51.71 |
| 34 | 21.67 | 19.87 | 19.02 | 18.89 | 18.19 | 19.54 | 16.31 | 11.10 |

Llamadas de los cuadros precedentes:

- (1) Muestras analizadas en el laboratorio de la Dirección de Recursos Naturales Renovables.
- (2) Ecuación de Kostyakov, $I = Kt^n$, la cual para lámina acumulada es: $I = At^B$. Experimentalmente determinada con cilindro infiltrómetro simple.
- (3) Muestras analizadas en el laboratorio de la Unidad de Riego El Rancho-Jícaro.
- (4) La profundidad promedio para el cultivo del tabaco es de 45cm., los números 1° y 4°, en cada caso, representan la ubicación longitudinal del muestreo; i.e., al centro de cada una de las cuatro partes del surco.
 - (i) Surco irregular (surco promedio).

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1848

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

| |
|------------------|
| Referencia |
| Asunto |
| |

"IMPRIMASE"



ING. AGR. CESAR A. CASTAÑEDA S.
D E C A N O