

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
DEPARTAMENTO DE CULTIVOS Y SUELOS TROPICALES

DRENAJE SUPERFICIAL EN UN CULTIVO DE MAIZ Y FRIJOL
ASOCIADOS, POR DIFERENTES TAMAÑOS DE CAMELLONES
HECHOS A MANO

TESIS SOMETIDA A LA CONSIDERACION DE LA COMISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
DEL PROGRAMA CONJUNTO UCR—CATIE PARA OPTAR AL GRADO DE

Magister Scientiae

JEAN ANDRE VICTOR

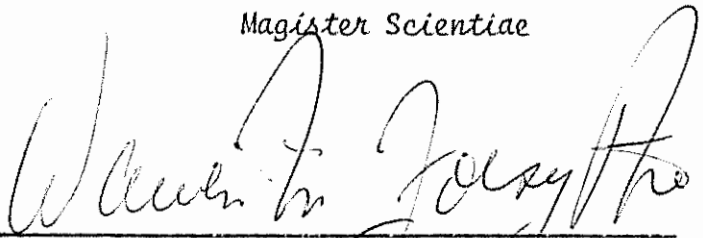
Turrialba, Costa Rica

1976.

Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR-CATIE, como requisito parcial para optar al grado de

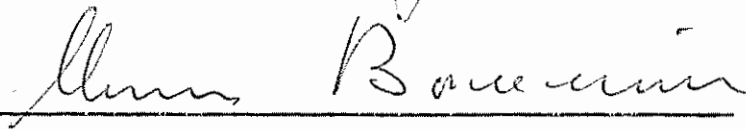
Magister Scientiae

JURADO:



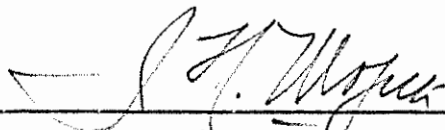
Consejero

Warren M. Forsythe, Ph.D.



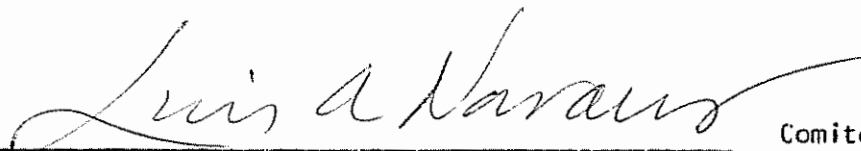
Comité

Elemer Bornemisza, Ph.D.



Comité

Iván Hojica, Ph.D.



Comité

Luis Navarro, Ph.D.



Coordinador

Sistema de Estudios de Posgrado
de la Universidad de Costa Rica

DEDICATORIA

A mis padres

A mi esposa

A mis familiares

Al pequeño agricultor

AGRADECIMIENTO

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos:

Al Dr. Warren Forsythe, Profesor Consejero, por sus consejos y sugerencias, su ayuda y colaboración y por sus intervenciones en favor del graduando.

- A los Doctores Elemer Bornemisza, Iván Mojica y Luis Navarro, miembros de su Comité Consejero por la revisión del trabajo y sus atinadas sugerencias.

- Al Dr. José Fargas y al Ing. Víctor Quiroga, ex-miembros de su Comité, por su valiosa colaboración.

- A los Doctores Antonio Pinchinat y Pierre Sylvain, por brindarle orientación y asistencia en varias oportunidades durante su permanencia en el Centro.

- Al Departamento de Agricultura, de los Recursos Naturales y del Desarrollo Rural de Haití, el alma mater, a la Organización de los Estados Americanos, al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y a la Representación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas en Haití, porque le dieron la oportunidad de realizar estudios de posgrado.

- A todas aquellas personas que le prestaron su colaboración durante la realización del presente trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en Trouin, Haití, el 10 de setiembre de 1941. Realizó sus estudios primarios en el colegio "Hermanos de la Instrucción Cristiana" de la ciudad de Leogane y sus estudios secundarios en el Liceo Antenor Firmin de la ciudad de Port-au-Prince.

Ingresó en la Facultad de Derecho y de Ciencias Económicas en 1961 y en la Facultad de Agronomía y de Medicina Veterinaria en 1963 de la Universidad del Estado de Haití, graduándose respectivamente como Licenciado en Derecho e Ingeniero Agrónomo en 1964 y 1967.

A partir de 1967, trabajó en un proyecto bilateral de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y del Ministerio de Agricultura establecido en la península sur de Haití donde fue: agente de extensión agrícola, asistente en Agronomía y jefe de la misma sección de Agronomía. En abril de 1972, recibió un adiestramiento de cuatro meses en Física de Suelos con opción en riego como estudiante especial del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación de Turrialba y becario de la FAO.

En enero de 1974 ingresó al Programa de Estudios Graduados de la Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (UCR-CATIE), en Turrialba, para realizar sus estudios de posgrado en el Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, área de Física de Suelos, graduándose de *Magister Scientiae* en febrero de 1976.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Aspectos generales	3
2.1.1 Drenaje superficial	3
2.1.2 Condiciones para la aplicación de drenaje superficial	3
2.1.3 Drenaje superficial por el sistema de camellones	4
2.2 Drenaje superficial, intensidad de lluvia e infiltración del suelo	5
2.2.1 Intensidad de lluvia en el trópico Americano	5
2.2.2 Infiltración de unos suelos del área tropical	6
2.3 Inundación y suelos encharcados	7
2.3.1 Comportamiento de los cultivos	7
2.3.2 Procesos físicos y químicos en suelos encharcados	11
2.4 Drenaje superficial y aeración del suelo..	13
2.4.1 Espacio aéreo (Ea)	13
2.4.2 Rata de difusión de oxígeno (RDO)	14
2.4.3 Composición del aire del suelo	15
2.4.4 Relaciones entre espacio aéreo y rata de difusión de oxígeno	16
2.5 Drenaje superficial y succión de agua	17
2.6 Drenaje superficial y rendimiento por unidad de superficie	18
3. MATERIALES Y METODOS	20
3.1 Localización del experimento	20
3.1.1 Area experimental	20
3.1.2 Clima	20
3.1.3 Suelo	20
3.2 Condiciones de cultivo	21
3.2.1 Orden cronológico de las principales labores de cultivo, sucesos registra- dos y actividades realizadas	21
3.2.2 Preparación del suelo y de los camellones	21
3.2.3 Variedades de maíz y de frijol sembradas..	23

3.2.4	Asociación de cultivos	23
3.2.5	Epoca de cultivo y modo de siembra	23
3.2.6	Distancia de siembra	25
3.2.7	Aplicación de fertilizantes	25
3.2.8	Deshierba	27
3.2.9	Medidas fitosanitarias	27
3.2.10	Evaluación del rendimiento	27
3.3	Diseño experimental	28
3.4	Análisis físicos	29
3.4.1	Humedad gravimétrica	29
3.4.2	Densidad aparente	30
3.4.3	Densidad de sólidos	30
3.4.4	Humedad volumétrica	30
3.4.5	Porosidad total y espacio aéreo	30
3.4.6	Resistencia del suelo a la penetración de raíces	30
3.4.7	Infiltración	31
3.4.8	Conductividad hidráulica	31
3.4.9	Succión de agua del suelo	31
3.4.10	Nivel freático	31
3.4.11	Rata de difusión de oxígeno (RDO)	31
3.5	Balace hídrico	33
3.6	Análisis químicos	33
3.6.1	Reacción del suelo (pH)	34
3.6.2	Nitrógeno total	34
3.6.3	Fósforo disponible	34
3.6.4	Bases cambiables	34
3.6.5	Capacidad de intercambio catiónico	35
3.7	Análisis económico	35
3.8	Análisis estadístico	36
3.8.1	Análisis de varianza	36
3.8.2	Análisis de regresión	36
4.	RESULTADOS	37
4.1	Aspectos generales de los cultivos	37
4.2	Rendimiento de los cultivos	37
4.2.1	Frijol	37
4.2.2	Maíz	38
4.2.3	Frijol y maíz	38
4.3	Análisis físicos	41
4.3.1	Humedad, densidad aparente, densidad de sólidos, porosidad y espacio aéreo	41
4.3.2	Resistencia del suelo a la penetración de raíces	41

	<u>Página</u>
4.3.3	Infiltración 42
4.3.4	Conductividad hidráulica 42
4.3.5	Succión de agua del suelo 43
4.3.6	Rata de difusión de oxígeno 43
4.3.7	Nivel freático 43
4.4	Balance hídrico 46
4.5	Análisis químicos 46
4.5.1	Reacción del suelo 46
4.5.2	Nitrógeno total 47
4.5.3	Fósforo disponible 47
4.5.4	Potasio cambiante y suma de bases cambiables 48
4.5.5	Capacidad de intercambio de cationes 48
4.6	Análisis económico 48
4.6.1	Costos e ingresos del experimento 48
4.6.2	Rentabilidad del sistema de camellones ... 49
4.6.2.1	Horas de trabajo gastadas en hacer los camellones 49
4.6.2.2	Costo de los camellones según su ancho respectivo correspondiente a un período de ocupación del terreno de cuatro meses 49
4.6.2.3	Ingreso adicional bruto debido al uso de los camellones 51
4.6.2.4	Maximización del beneficio adicional neto y de la razón beneficio adicional neto/ costo adicional 54
5.	DISCUSION 57
5.1	Condiciones agronómicas 57
5.2	Niveles de rendimiento 57
5.3	Grado de encharcamiento 58
5.4	Respuesta de los cultivos 59
5.5	Efecto de orilla 59
5.6	Competencia entre maíz y frijol 61
5.7	Requisitos de mano de obra para hacer los camellones 61
5.8	Costos variables del experimento 63

	<u>Página</u>
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
7. RESUMEN	66
7a. SUMMARY	68
7b. RESUME	69
8. LITERATURA CITADA	71
9. APENDICE	83

LISTA DE CUADROS

APENDICE

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
A1	Orden cronológico de las principales labores de cultivo, sucesos registrados y actividades realizadas durante el experimento	84
A2	Análisis de varianza del rendimiento de frijol en kilogramo/hectárea	85
A3	Prueba de Duncan para comparaciones de medias en los tratamientos, según el rendimiento de frijol	85
A4	Análisis de varianza del rendimiento de maíz en kilogramo/hectárea	86
A5	Prueba de Duncan para comparaciones de medias en los tratamientos, según el rendimiento de maíz	86
A6	Promedios y desviaciones estándar de los valores de humedad gravimétrica (Hg), densidad aparente (d.a.), humedad volumétrica (Hv), densidad de sólidos (d.s.), porosidad (E) y espacio aéreo, a capacidad de campo	87
A7	Análisis de varianza de la resistencia a la penetración en bares medida en tres sitios (centro-orilla-entre centro y orilla de los camellones)	88
A8	Análisis de varianza de la resistencia a la penetración en bares medida a 10 cm de profundidad en tres sitios (centro-orilla-centro y orilla de los camellones).....	89
A9	Prueba de Duncan para comparaciones de medias de los valores de resistencia a la penetración en bares medida a 10 cm de profundidad y en tres sitios (centro-orilla-entre centro y orilla de los camellones)	89
A10	Análisis de varianza de la resistencia a la penetración en bares medida a 20 cm de profundidad en tres sitios (centro-orilla-entre centro y orilla de los camellones)	90

<u>Cuadro N°</u>	<u>Página</u>
A11	Prueba de Duncan para comparación de medias de los valores de resistencia a la penetración e bares medida a 20 cm de profundidad y en tres sitios (centro-orilla-entre centro y orilla de los camellones) 90
A12	Promedios y desviaciones estándar de los valores de conductividad hidráulica (en base a ocho muestras para cada profundidad) 91
A13	Análisis de varianza de la succión de agua del suelo, registrada durante el experimento en la orilla de los camellones 91
A14	Análisis de varianza de la succión de agua del suelo, registrada durante el experimento en el centro de los camellones 92
A15	Promedios y desviaciones estándar de los valores de succión matricial, medidos en el centro y la orilla de los camellones durante las 15 semanas del experimento 93
A16	Análisis de varianza de rata de difusión de oxígeno, según tres etapas de crecimiento con valores del centro de los camellones 94
A17	Análisis de varianza de rata de difusión de oxígeno, según tres etapas de crecimiento con promedios de los valores registrados en el centro y la orilla de los camellones 94
A18	Promedios y desviaciones estándar de los valores de profundidad del nivel freático durante las 15 semanas del experimento 95
A19	Valores de precipitación y de evaporación de tanque A durante las 15 semanas del experimento 96
A20	Probabilidades de tener un balance hídrico mensual igual a 150 mm y más durante el experimento y valores de balance hídrico observado 96
A21	Análisis de varianza de la reacción del suelo (pH) determinada en H ₂ O a partir de dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad 97

<u>Cuadro N.º</u>	<u>Página</u>
A22	Análisis de varianza de la reacción del suelo (pH) determinada en KCl a partir de dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad 97
A23	Análisis de varianza de nitrógeno total en porcentaje determinado en dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad 98
A24	Comparaciones de medias en el centro y la orilla de los camellones, según el contenido de nitrógeno total en porcentaje, a 0-30 cm de profundidad 98
A25	Análisis de varianza de fósforo disponible (ppm) determinado en dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad 99
A26	Prueba de Duncan para comparaciones de medias en el centro y la orilla de los camellones, según el contenido de fósforo disponible (en ppm) a 0-30 cm de profundidad 99
A27	Análisis de varianza de potasio cambiante (meq/100 g de suelo) determinado en dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad 100
A28	Comparaciones de medias en el centro y la orilla de los camellones, según el contenido de potasio cambiante (meq/100 g de suelo) a 0-30 cm de profundidad 100
A29	Análisis de varianza de suma de bases cambiantes (K, Ca, Mg, Na) en meq/100 g de suelo, determinadas en dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad 101
A30	Análisis de varianza de la capacidad de intercambio de cationes determinada en dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad en meq/100 g de suelo 101

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
A31	Resultados de análisis químicos del centro y de la orilla de cuatro camellones escogidos al azar del grupo de 12 camellones mayores como prueba preliminar del efecto de orilla	102
A32	Costos variables registrados durante el experimento con base de una hectárea	103
A33	Ingreso total bruto realizado a partir de todos los tratamientos del experimento ...	104
A34	Costo de los camellones en horas/hombre/hectárea, según su ancho respectivo correspondiente a un período de ocupación del terreno de cuatro meses	104
A35	Cálculo de la razón beneficio adicional/costo adicional en función de un período de ocupación del terreno de cuatro meses..	105
A36	Cálculo seguido en la determinación del ancho de camellón que maximiza la razón beneficio adicional/costo adicional	106

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura N°</u>		<u>Página</u>
1	Pasos importantes seguidos en la construcción de un camellón	24
2	Distribución de las plantas de maíz y de frijol según la distancia de siembra, el ancho de los camellones y el grupo de los camellones por parcela experimental	26
3	Relación entre los rendimientos de frijol y de maíz, según el ancho de los camellones ..	39
4	Comportamiento de la infiltración del suelo en función del tiempo. Límites de confianza	40
5	Relación entre la precipitación, la evaporación de tanque A, la succión de agua del suelo y el nivel freático, según las semanas de crecimiento	44
6	Relación entre la rata de difución de oxígeno (RDO) y tres épocas de crecimiento con los valores promedios de RDO determinados en los tratamientos y sus desviaciones estándar en relación con la succión de agua del suelo	45
7	Relación entre las horas de trabajo gastadas en hacer los camellones y el ancho respectivo de los camellones	50
8	Relación entre el costo adicional por uso de los camellones durante el período de cuatro meses y el ancho respectivo de los mismos ..	52
9	Relación entre el ingreso adicional bruto y el ancho de los camellones	53
10	Determinación gráfica del ancho de camellón que maximiza el beneficio adicional	56

1. INTRODUCCION

La mayoría de los países del trópico Americano se caracterizan por su vocación agrícola, fuerte presión demográfica y producto nacional bruto per capita relativamente bajo (134). Esto crea la necesidad de aumentar la producción agrícola para satisfacer las necesidades de una población creciente y conseguir divisas para equilibrar el déficit de la balanza de pagos.

Por consiguiente, es preciso desarrollar una tecnología asequible al pequeño agricultor que utiliza en aquellos países, la mayoría de las unidades de producción (10). Este pequeño productor, con sus medios de información limitados, siempre ha estado marginado y nunca ha podido aprovechar de la tecnología ya disponible por falta de capital y de tierra.

Uno de los factores limitantes de la agricultura tropical, lo constituye el drenaje de los terrenos (22, 33, 59, 86, 104, 120). La lluvia, en clima tropical, se caracteriza básicamente por su alta intensidad, favoreciendo así condiciones propicias al encharcamiento. Ciertos cultivos, como el frijol, base de la dieta y fuente de proteína vegetal más barata en América Latina (18) son muy sensibles al anegamiento. El control del exceso de agua gravitacional podría contribuir a producir más por unidad de superficie y de tiempo.

En lo que se refiere a desague superficial, el sistema de camellones puede adaptarse sin gran dificultad, a los medios de producción del pequeño agricultor. Estos camellones pueden hacerse con herramientas

tradicionales (paia y pico), lo cual significaría una mayor utilización de la mano de obra, siendo ésta aparentemente el recurso más abundante en la mayoría de los países en vía de desarrollo.

Los objetivos de este estudio son:

- a) Determinar las características físicas y químicas del suelo en seis tamaños de camellones hechos a mano.
- b) Analizar el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivados en asociación bajo el sistema de camellones hechos a mano.
- c) Calcular la rentabilidad de los diferentes tamaños de camellones hechos a mano.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspectos generales

2.1.1 Drenaje superficial

El drenaje superficial consiste en remover de la superficie del suelo el exceso de agua gravitacional y controlarlo de tal manera que el suelo ofrezca mejores condiciones para el crecimiento de las plantas (4, 29, 102).

Existen varias clasificaciones de drenaje (4, 85, 86, 90, 93, 95) que se diferencian entre sí según el criterio de referencia elegido por los autores. Sin embargo, en lo que a drenaje superficial se refiere, la clasificación siguiente reúne el acuerdo de varios investigadores (11, 95, 114, 136):

- Sistema de camellones
- Sistema al azar
- Sistema de zanjas de declive
- Sistema regular o paralelo
- Sistema mixto que puede remover agua de superficie y controlar la capa freática.

2.1.2 Condiciones para la aplicación de drenaje superficial

El drenaje superficial se aplica preferiblemente a las siguientes condiciones (136):

- Suelos de muy lenta infiltración
- En suelos en los cuales el drenaje interno no es factible (económicamente o técnicamente)

- Como complemento del drenaje interno.

Forsythe (37) observó en Turrialba, Costa Rica, que se puede aplicar el drenaje superficial aún en suelos con tasa relativamente alta de infiltración (2 a 4 centímetros/hora o cm/hr) si el balance hídrico es positivo durante la mayor parte del año, especialmente en los meses que tienen más de 150 milímetros (mm) de exceso de lluvia en relación con la evaporación del tanque.

Kriz (71) ha notado, en zonas húmedas, que el agricultor no riega aunque sea necesario para evitar la posibilidad que un aguacero posterior al riego cause daños a los cultivos por anegamiento. De aquí la importancia del drenaje superficial, el cual permite aliviar o resolver este problema, removiendo el exceso de agua. El tipo de drenaje superficial a usar depende de muchos factores como topografía, tipo de suelo, tipo de labranza y preferencia del agricultor (82, 136).

2.1.3 Drenaje superficial por el sistema de camellones

El sistema de camellones se aplica generalmente a suelos con pendiente inferior a 2 por ciento (%) y de infiltración lenta (11, 29). El ancho del camellón depende del uso de la tierra, de la pendiente de la parcela, de la infiltración del suelo y de las técnicas de manejo (29, 102).

Beauchamp (11) recomendó distancias laterales de 90 a 300 metros (m) mientras que Raadsma y Schulze (102) sugieren medidas de ancho de 8 a 30 m. Beer y Shrader (12) usaron en su experimento una distancia de 30 m de ancho mientras que en Louisiana (E.U.A.) se cultiva en camellones

de 1,80 m de ancho plantando la caña de azúcar arriba del camellón (59).

2.2 Drenaje superficial, intensidad de lluvia e infiltración del suelo

Para fines agrícolas, la importancia de una lluvia radica en la cantidad de agua que penetra en el suelo. En un momento dado, esa cantidad nunca puede ser superior a la infiltración del suelo en el mismo momento. El exceso de agua se escurre o se estanca. Por consiguiente, las altas intensidades de lluvia facilitan el encharcamiento cuando las condiciones topográficas y edáficas son favorables.

2.2.1 Intensidad de lluvia en el trópico Americano

La pluviometría varía ampliamente en el área tropical desde 25 mm/año hasta más de 5000 mm/año (83). Sin embargo, los aguaceros y tormentas comunes en varias zonas tropicales se caracterizan generalmente por altas intensidades de lluvia. Así, Hudson (58) indicó que en zonas templadas, solamente el 5 por ciento de la pluviometría tienen altas intensidades con poder erosivo mientras que en zonas tropicales, 40 por ciento de las caídas de lluvia tienen intensidades superiores a 25 mm/hora.

Magoon (86) citó valores de 62 mm/minuto registrados en Porto Bello, Panamá, en tres minutos y de 62,5 mm/hora en Managua, Nicaragua, durante tres horas consecutivas. Hardy (52) ha notado que cerca del 30 por ciento de las lluvias registradas en Trinidad son aguaceros torren- ciales de una intensidad mayor de 20 mm/hora.

Según Heymans Meardi (55), durante un período de 10 años en El Salvador, la intensidad crítica correspondiente a un tiempo de concentración de 120 minutos fue de 49 mm/hora y alcanza 178,2 mm/hora para un tiempo de concentración de 10 minutos. Forsythe (37) presentó un cuadro para Costa Rica y Guatemala con intervalo de retorno de 5 y 10 años en que la intensidad registrada varía entre 50 y 185 mm/hora para Pacayas en Costa Rica y de 75 a 117 mm/hora para la zona de Suchitépéquez en Guatemala.

Bourne y colaboradores (15) mencionaron datos de 1800 mm/hora durante 10 minutos para El Salvador mientras que Théveneau, citado por Fougrouze (40) observó que en Guadalupe (Antillas Menores), no son excepcionales las intensidades de 3 mm/minuto así como los aguaceros de 100 mm en unas horas. En Puerto Rico, las intensidades esperadas para intervalo de retorno de 5, 10 y 50 años son respectivamente 95, 144 y 140 mm/hora (124). Pagney (98), estudiando los ciclones tropicales, señaló que son acompañados generalmente de fuertes aguaceros y se pueden caer en unas horas o algunos días totales de lluvia que equivalen a los totales anuales comunmente registrados en la zona templada multiplicados por 2 o 3.

2.2.2 Infiltración de unos suelos del área tropical

En el área tropical, el rango de velocidad de infiltración parece ser muy amplio. Mazariegos (88) ha encontrado suelos con velocidades de infiltración a las dos horas que fluctúan entre 0,4 cm/hora y 9,9 cm/hora en el Valle de Asunción. Mita, Jutiapa, de Guatemala.

Según Valencia (125) los Andepts de Rivas en Nicaragua, tienen a las dos horas velocidades de infiltración entre 7 y 21 cm/hora. En Costa Rica, se ha encontrado en la cuenca del río Itiquis un rango bastante amplio de velocidad constante de infiltración siendo la más baja de 2,8 cm/hora en los aparentes Vertisoles de la serie Baudrit y la más alta de 29,25 cm/hora en los suelos coluviales de la serie Animas (35). Forsythe (37), también en Costa Rica, encontró en los suelos de la serie Colorado, una velocidad de infiltración de 12 cm/hora a las dos horas, aunque tengan estos suelos de 74 a 87 por ciento de arcilla de 2 micras.

En la zona atlántica de Colombia, se han experimentado, a las dos horas, velocidades de infiltración que van de 0,22 cm/hora en los suelos de la serie Campo de la Cruz hasta 16,50 cm/hora en los de la serie Julietta (61). Según el Centro de Drenaje y Recuperación de Tierras (22) en Perú, se hicieron en el Valle de Piura 1322 pruebas de infiltración en 318 puntos. Los resultados mostraron que en 60 por ciento de las pruebas se necesitó menos de 10 horas para que se infiltre una lámina de agua de 15 cm mientras que en el 30 por ciento de las mediciones, se requirió de 10 a 100 horas para que infiltre la misma lámina. Bonnet y Lugo-López (14) encontraron en 30 tipos de suelos de la zona de Coamo en Puerto Rico, velocidades de infiltración a las dos horas que varían entre 0,42 cm/hora y 13 cm/hora.

2.3 Inundación y suelos encharcados

2.3.1 Comportamiento de los cultivos

Las distintas especies de plantas tienen tolerancia diferente

a períodos variados de inundación. Esta tolerancia depende también de la etapa de desarrollo de la planta.

Kramer (68) hizo una revisión amplia de la tolerancia a la inundación y concluyó que no resulta muy claro cuánta de esa diferencia observada en las distintas especies es el resultado de diferencias en la capacidad de las raíces para tolerar condiciones anaeróbicas y cuánta se debe a diferencias en el movimiento del oxígeno hacia abajo, de vástagos a raíces.

Algunas plantas se adaptan a sitios encharcados por medio de un sistema radicular superficial o bien desarrollando raíces adventicias con grandes espacios intracelulares y capaces de tomar en forma interna el oxígeno liberado por fotosíntesis (25, 69).

McPherson (89) observó un mayor desarrollo de espacios intracelulares llenos de aire en las raíces de maíz que crecen en suelo húmedo que en las que crecen en suelo seco. Lo mismo ocurrió con raíces en soluciones nutritivas no aeradas y raíces en soluciones nutritivas aeradas.

Según Vlamis y Davis (128) una cantidad considerable de oxígeno se mueve de los vástagos a las raíces sumergidas del arroz. Este movimiento ha sido demostrado en el maíz y la cebada, aún cuando en un grado menor al del arroz, por Jensen y colaboradores (63).

Sin embargo, el maíz es sensible al encharcamiento. Lal y Taylor (73) encontraron que el encharcamiento intermitente durante la primera época de crecimiento redujo el rendimiento de maíz mucho más que lo haría una capa freática de 15 a 30 cm. El encharcamiento así como

el nivel freático alto redujeron significativamente la absorción de nitrógeno y de zinc por el maíz.

Por otro lado, otras plantas como el frijol y el tabaco son muy sensibles al anegamiento y según Kramer y Jackson (70) no hay una explicación detallada sobre este hecho. Forsythe y Pinchinat (39) experimentando diversos períodos de inundación sobre la variedad de frijol '27-R' concluyeron que una inundación superficial por 12 horas cada 7 días reduce de 90 por ciento el rendimiento de grano. Gómez (45), probando duraciones menores de inundación de 9, 5 y 1 hora a diferentes frecuencias y etapas de crecimiento, encontró que en todas las combinaciones de duración/frecuencia/etapa, la planta se ve afectada y la reducción del rendimiento varió entre 10 y 100 por ciento con respecto al testigo.

Conviene distinguir entre tolerancia a la inundación para un crecimiento productivo y tolerancia a la misma para la supervivencia. Por ejemplo, Satorius y Belcher (108) observaron que plantas de caña de azúcar cultivadas en Florida, permanecieron inundadas varios meses y luego se recuperaron. Humbert (59) señaló lo mismo. Sin embargo, en lo que a crecimiento productivo se refiere, se comprobaron que la caña responde positivamente al drenaje (6, 81, 109).

Fulton y Erickson (42) encontraron que una inundación de 1 día a las primeras 3 semanas de crecimiento del tomate, disminuyó el peso fresco de la fruta de 17 por ciento con respecto al testigo. Es interesante notar que la falta de aeración no explica sino que parcialmente el daño que se observa en plantas sometidas a condiciones de

anegamiento (69). Se han señalado concentraciones tóxicas de los iones ferroso y sulfuro que se pueden formar inmediatamente después del encharcamiento así como producción de compuestos orgánicos como el metano que son perjudiciales para el crecimiento vegetal (127).

La severidad del daño observado en cultivos anegados también depende de ciertos factores ambientales como la temperatura y la intensidad luminosa. En condiciones tropicales donde la temperatura del ambiente (suelo y aire) es relativamente alta, la importancia del buen manejo de suelos encharcados radica en la posibilidad de daños más agudos en las plantas anegadas.

Según Kramer y Jackson (70), el marchitamiento y la clorosis de plantas de tabaco anegadas eran más severos a una temperatura del suelo de 34°C que a una temperatura de 20°C. Luxmoore, Fisher y Stolzy (84) encontraron que a una temperatura del suelo de 5°C, una inundación de 30 días no afecta el rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.) mientras que a 15-17°C y a 25°C la misma duración de inundación bajó respectivamente el rendimiento de 23 y de 73 por ciento. Letey, Stolzy y Lunt (79) mostraron que el bajo contenido de oxígeno es más detrimental para el crecimiento de girasol (*Helianthus annuus*) y algodón (*Gossypium hirsutum*) cuando la temperatura del suelo era de 31°C en comparación con una de 23°C.

Williamson y Splinter (133) estudiaron los efectos del anegamiento y de la composición gaseosa del suelo sobre el crecimiento del tabaco (*Nicotianum tabacum* L.). Encontraron que concentración de 1 por ciento de oxígeno (O₂) respectivamente en 99 y 79 por ciento de nitrógeno (N₂), con o sin dióxido de carbono (CO₂), redujo levemente el crecimiento

de las plantas, a una intensidad luminosa de 1000 bujías/pie y a una temperatura del aire de 18,3°C durante el día. La misma concentración de gases reduce progresivamente el crecimiento conforme van aumentando la temperatura del aire y la intensidad luminosa. A las mismas temperaturas e intensidad luminosa, el crecimiento se detuvo si la composición gaseosa del medio radical es de puro nitrógeno pero las plantas se recuperaron después, mientras que las plantas no sobreviven si con el mismo tratamiento de nitrógeno puro, se mantiene la temperatura del aire a 29,4°C y la intensidad luminosa a 4000 bujías/pie.

Según Van't Woudt (127), las temperaturas prevalecientes en el momento de la inundación, afectan en forma apreciable el grado del daño y el gran daño que ocurre en los días calurosos como resultado de la inundación se llama "escaldado". La escaldadura es de gran importancia económica en las zonas irrigadas de las regiones más calurosas. El mismo Van't Woudt (127) hizo una revisión amplia de los daños por escaldado y recomendó, en base a experiencias de muchos investigadores, hacer corrugaciones en la superficie del suelo para evitar el estancamiento del agua aplicada, como una de las medidas susceptibles de reducir el daño por escaldadura.

2.3.2 Procesos físicos y químicos en suelos encharcados

En suelos encharcados, el intercambio gaseoso está virtualmente confinado a una fracción de la pulgada superior del suelo (127). La difusión del gas es 10 mil veces menor en agua que en aire con iguales

gradientes y área de difusión (44). Lo que indica que aún una capa delgada de agua sobre un suelo encharcado actúa como una barrera eficiente entre el aire y el suelo.

Hooghourt, Nicholson y Firth, citados por Van de Goor (46), observaron un deterioro de la estructura del suelo en suelos mal drenados.

El agua requiere cinco veces más calor que el suelo para elevar su temperatura a un nivel determinado. Por lo tanto, un suelo con 50 por ciento de humedad requiere dos veces y un tercio más calor que un suelo seco para calentarse. La presencia del agua aumenta el calor específico del suelo (46). Así, la variación de la temperatura en uno y otro sentido por efecto del drenaje, puede ser favorable o desfavorable.

Las condiciones de reducción producidas por el encharcamiento tienden a alterar las sustancias minerales del suelo desde un estado de oxidación hasta uno reducido. La mineralización del nitrógeno disminuye después de un período inicial de liberación rápida (127).

Russel (106) relacionó con la presencia de iones sulfato en suelo bien drenado y de iones sulfuro en suelo encharcado, el incremento en pH que ocurre cuando los suelos bien drenados están sumergidos y la disminución del pH cuando estos suelos son drenados de nuevo.

La solubilidad del fósforo y de la mayoría de los cationes es mayor en suelos encharcados. Con el incremento de la solubilidad, se aumenta la concentración de los cationes en suelos encharcados según el tiempo de inundación (103). Pero si el encharcamiento sigue durante un

período prolongado, según Robinson (103), los suelos encharcados se volverán tan profundamente lixiviados que soportarán poco crecimiento vegetal al ser drenados. Al respecto, Van't Woudt (127) señaló el ejemplo que mencionó Mitsui acerca de la degradación de los suelos de arrozal en Japón, después de inmersión prolongada y recurrente.

Según Van de Goor (46), la velocidad de descomposición de la materia orgánica se reduce en suelos encharcados y pobremente drenados ya que predominan condiciones de reducción en los mismos.

2.4 Drenaje superficial y aeración del suelo

Los efectos adversos mencionados anteriormente no se deben necesariamente a la presencia directa del exceso de agua, ya que las cosechas no sufren aún cuando se les cultiva totalmente en agua si pueden obtener aire. Por eso, la meta directa de una operación de drenaje es permitir la aeración del suelo. Esta se caracteriza comunmente por el espacio aéreo, la rata de difusión de oxígeno, la composición del aire del suelo.

2.4.1 Espacio aéreo (E_a)

Dasberg y Bakker (26), comparando unos índices de aeración del suelo (concentración de oxígeno - rata de difusión de oxígeno - potencial de oxidación - reducción y espacio aéreo), encontraron mejor correlación entre el E_a y el crecimiento de la planta. El espacio aéreo, a pesar de ser una medida indirecta de la aeración del suelo (8), parece ser muy útil como índice de aeración del suelo.

Kopecky (67) ha notado los valores mínimos de E_a asociados con buenos rendimientos: para pastos de 6 a 10 por ciento; trigo y avena de 10 a 15 por ciento; cebada y remolacha de 15 a 20 por ciento. Legarda (75) encontró un valor de 25 por ciento para la variedad de frijol "27-R", asociado con el rendimiento máximo que él obtuvo.

Baver y Farnsworth (8) encontraron que una porosidad no capilar (7) de 8 por ciento redujo de 12 a 16 por ciento el rendimiento de remolacha de azúcar mientras que Yoder (134) obtuvo su más alto rendimiento de algodón cuando la porosidad no capilar era encima de 30 por ciento. Generalmente, el valor de 10 por ciento de E_a se considera como el límite crítico para la mayoría de especies cultivadas (50, 126).

2.4.2 Rata de difusión de oxígeno (RDO)

Shalhevet y colaboradores (113) encontraron que la reducción del rendimiento de remolacha azucarera ocurre aproximadamente a una rata de difusión de oxígeno de $30 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ y una reducción de 72 por ciento del rendimiento a $23 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ de RDO. Wiersma y Mortland (134) consideran el rango de $23-30 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ como crítico para remolacha de azúcar.

Legarda (75) encontró para frijol los valores más adecuados entre $24-28 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Como regla general, Stolzy y Letey (116) señalaron que el valor de $20 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ es detrimental para el desarrollo de raíces en varios cultivos.

El efecto de la temperatura sobre la RDO parece notable ya que la RDO aumenta en 1,8 por ciento por cada grado Celsius de aumento en la temperatura (116).

2.4.3 Composición del aire del suelo

En condiciones óptimas, el aire de los suelos está compuesta generalmente de 20,30 por ciento de O_2 , 79,00 por ciento de N_2 y 0,15 a 0,65 de CO_2 (y casi saturado con el vapor de agua). En cambio, el aire de la atmósfera se compone de 20,96 por ciento O_2 , 79,01 por ciento de N_2 y 0,03 por ciento de CO_2 . Pues la concentración del CO_2 en aire del suelo es de 5 a 20 veces mayor que la de la atmósfera. No obstante, estos valores de la composición promedio del aire del suelo cambian con las estaciones, los suelos, los cultivos, el tipo de labranza y la actividad biológica (5, 9, 16, 105).

Los efectos de una fuerte cantidad de dióxido de carbono sobre el crecimiento de las raíces no han sido definido claramente (68). Stolwijk y Thimann (115) afirmaron que una concentración de 1 por ciento de CO_2 es perjudicial, mientras que Grable y Danielson (47) informaron que concentraciones de CO_2 de 20 por ciento o más no han perjudicado al maíz y frijol de soya.

Parece ser que las bajas concentraciones de oxígeno son más frecuentes en el suelo como factor inhibitorio que altas concentraciones de dióxido de carbono (68). Varios trabajos reportados por Van't Woudt (127) sugieren que concentraciones de oxígeno inferiores a 10 por ciento tienen efecto depresivo sobre el crecimiento de las plantas.

Algunos autores (7) aceptan con mucha reserva la composición del aire del suelo como índice de aeración del mismo. Esas reservas son quizás justificadas ya que Garay (43) encontró que una buena composición de las muestras de aire extraídos del suelo no implicó necesariamente la presencia de un alto porcentaje de espacio aéreo o de una buena condición de drenaje.

Greenwood (49) mencionó que medidas directas de la distribución de oxígeno en el suelo han confirmado la hipótesis según la cual se encuentran, en muchos suelos húmedos, poros saturados de agua donde la concentración de oxígeno se reduce rápidamente hasta alcanzar aún cero, a la par de poros llenos de aire en los cuales es alta la concentración de oxígeno. Por eso, Greenwood concluyó que en muchos suelos húmedos, concentraciones pequeñas de oxígeno no se encuentran sino en los poros saturados de agua y solamente si existe gradientes importantes de concentración por distancia.

2.4.4 Relaciones entre espacio aéreo y rata de difusión de oxígeno

Siendo la difusión el proceso más importante en el intercambio entre el suelo y la atmósfera (7, 19), se han investigado relaciones entre rata de difusión de oxígeno y el espacio aéreo. Al respecto, citamos unas de las relaciones empíricas que indican la relación entre la rata de difusión de oxígeno y el espacio aéreo.

$$Q = K E_a^2 \quad \text{Buckingham (19)} \quad \underline{\underline{[1]}}$$

$$D/D_o = 0,66 E_a \quad \text{Penman (99)} \quad \underline{\underline{[2]}}$$

$D/Do = E_a^{3/2}$	Marshall (87)	<u>[3]</u>
$D/Do = 0,67 E_a$	Taylor (121)	<u>[4]</u>
$D/Do = 5,25 E_a^{3,36}$	Grable y Siemer (48)	<u>[5]</u>
$D/Do = 0,85 E_a^{2,0}$	Bakker y Hidding (5)	<u>[6]</u>
$D/Do = E_a^{4/3}$	Millington (91)	<u>[7]</u>

Q = coeficiente de difusión efectiva a través de la masa del suelo

D = coeficiente de difusión de un gas a través de la masa del suelo

Do = coeficiente de difusión de un gas a través del aire libre

K = constante

E_a = espacio aéreo

2.5 Drenaje superficial y succión de agua

Aumentar la aeración del suelo por el drenaje significa, desde luego, bajar el contenido de humedad del suelo o sea aumentar la succión del agua (presión negativa) del mismo ya que el espacio aéreo y succión están correlacionados (38).

Sin embargo, la mayoría de los suelos no pueden ser drenados más allá de la capacidad de campo ya que el drenaje no afecta el agua de capilaridad, aunque tales posibilidades existen para suelos extremadamente arenosos y para suelos turbosos (136).

Las respuestas de distintas especies vegetales son diferentes en relación con la succión de agua del suelo. Taylor, citado por Gavande (44), presentó los siguientes valores de succión en centibares correlacionados con el máximo rendimiento de varios cultivos: Alfalfa 150; Frijol 75 - 200; Tabaco 30 - 80; Cebolla (hasta floración) 45 - 55;

Cebolla (después de floración) 55 - 65; Papa 30 - 80; Tomate 80 - 150; Maíz (hasta floración) 50; Maíz (durante maduración) 800 - 1200.

2.6 Drenaje superficial y rendimiento por unidad de superficie

Raadsma y Schulze (102) observaron que poco se ha hecho en cuando a investigación sistemática en drenaje superficial, aunque la técnica es muy vieja ya que se le ha considerado hasta recientemente como una práctica de cultivo ordinaria en la finca. No obstante, el objetivo fundamental de una operación de drenaje agrícola es aumentar el rendimiento de las cosechas.

Sutton (118) ha notado un incremento de 64 por ciento obtenido por drenaje en el rendimiento del maíz. Ulhand, citado por Schwab y colaboradores (112), observó, en un reconocimiento en los Estados Unidos, un aumento de 50 por ciento del rendimiento de maíz debido al drenaje. Wojta, citado por Zwerman y colaboradores (137) encontró incremento en el rendimiento de la avena por efecto del drenaje superficial.

Sin embargo, Beer y Schrader (12) encontraron que el drenaje superficial no aumentó el rendimiento sobre parcelas niveladas concluyendo que el sistema de camellones que usaron no era práctico para el suelo utilizado. Otra manera de explicar los resultados de Beer y Schrader sería el hecho de que ellos usaron parcelas niveladas como testigo ya que Saveson (110) mencionó que el simple hecho de nivelar parcelas de caña de azúcar en Louisiana, produjo incremento de rendimiento sobre parcelas encharcadas.

El mismo Saveson (109) ha reportado que el drenaje duplicó el

rendimiento de maíz y produjo en la caña un incremento de 4,46 toneladas estándar y de 922 lbs. de azúcar por acre.

Schwab y colaboradores (112) encontraron la inecuación siguiente en cuanto al incremento de rendimiento:

$$1 + 2 > 2 > 1 > 0$$

0 = no drenado

1 = con drenaje superficial

2 = con drenaje interno

Pero, la evaluación económica reveló lo siguiente:

$$1 > 2 > 1 + 2$$

o sea, por cada dólar invertido, se gana 10 dólares con el drenaje superficial, 6 dólares con el drenaje interno y 4 dólares con ambos asociados.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

3.1.1 Area experimental

El experimento se llevó a cabo en la estación experimental del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales dentro de los límites del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). La estación experimental está ubicada en Turrialba, Costa Rica ($9^{\circ}53'$ de latitud N y $83^{\circ}39'$ de longitud O) a una elevación de 602 m sobre el nivel del mar.

3.1.2 Clima

La zona tiene una temperatura media mensual de $23^{\circ}30$ (máx. $27^{\circ}10$ y mín. $17^{\circ}00$) y una precipitación media anual de 2682 mm con un promedio de 251 días anuales de lluvia. El brillo solar diario es de 4,5 horas de sol y la humedad relativa diaria es de 88 por ciento en promedio (1). El balance hídrico (lluvia - evaporación de tanque A) indica 11 meses de exceso de humedad que fluctúa entre 9 y 269 mm siendo el promedio mensual de 137 mm (37). La zona pertenece al bosque muy húmedo premontano, según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (56, 57).

3.1.3 Suelo

El suelo, donde se instaló el experimento, es de origen aluvial fluvio lacustre, pertenece a la serie Instituto Arcilloso y se clasifica a nivel de subgrupo como Typic Dystropept en el Sistema Comprendible de Clasificación de Suelos del Departamento de Agricultura de

los Estados Unidos. La pendiente de esta serie varía entre 0 y 3 por ciento; su drenaje va de pobre a imperfecto (1).

Con el fin de llevar a cabo los objetivos de este trabajo, se escogieron parcelas en que siempre fracasaron los cultivos por encharcamiento a pesar de la red de drenaje interno que cubre totalmente el área experimental.

3.2 Condiciones de cultivo

3.2.1 Orden cronológico de las principales labores de cultivo, sucesos registrados y actividades realizadas

El orden cronológico de las principales labores de cultivo, sucesos registrados y actividades realizadas durante el transcurso del experimento, se presenta en el Cuadro A1 del Apéndice.

3.2.2 Preparación del suelo y de los camellones

Se hicieron todas las operaciones con pala, pico, machete y azadón. Los camellones se distribuyeron por unidades diferentes dentro de una parcela experimental de 90 metros cuadrados (m^2), según su ancho respectivo y con un largo constante de 15 m. Por tal efecto, las unidades experimentales se repartieron según lo siguiente:

6	camellones de 1 m	formando una parcela experimental de 90 m ²
3	" de 2 m	" " " " " "
2	" de 3 m	" " " " " "
1	camellón de 4 m	formando una parcela experimental de 60 m ²
1	" de 5 m	" " " " " de 75 m ²
1	" de 6 m	" " " " " de 90 m ²

Se siguieron los pasos siguientes en la preparación de los camellones hechos a mano y sin uso de instrumentos topográficos:

- a) se cortó con machete la vegetación natural cuya altura alcanzó entre 1,50 y 2 m en 50 por ciento de la superficie total del terreno.
- b) se quitó la vegetación cortada fuera de las parcelas y se picó el terreno. Luego, se arrancaron las raíces no extraídas durante el trabajo de los picos y se terminó la limpieza del terreno con las manos y los ganchos.
- c) con estacas y cuerdas, se delimitó el camellón o el grupo de camellones por parcela, según su ancho respectivo. Se unieron los puntos centrales de los camellones con una cuerda a una altura determinada para que se amontonara el suelo desde la orilla del camellón hacia su centro. Esta altura fue de 0,15 m para camellones de 1, 2 y 3 m de ancho y de 0,25 m para camellones de 4, 5 y 6 m de ancho.
- d) se excavaron con palas en ambos lados del camellón canales de 0,20 m de ancho y de 0,10 a 0,30 m de profundidad, siguiendo la pendiente natural del terreno. El escombros sirvió para terraplenar el camellón. También se sacó tierra de la orilla de los camellones para amontonar en el centro de los mismos hasta la altura deseable.
- e) se finalizó el camellón con pala y azadón tratando de

uniformizar la pendiente. La pendiente teórica de los camellones dada por la altura inicial a la cual se amontonó el suelo en su centro dividida entre el medio ancho del camellón es muy relativa debido a que el suelo de terraplén luego se compacta por el impacto de las gotas de lluvia y bajo la acción del tráfico humano.

Los pasos más importantes de la preparación se muestran en la Fig. 1.

3.2.3 Variedades de maíz y frijol sembradas

Se usó la variedad de maíz Tuxpeño, precoz y de grano blanco. La variedad de frijol es la Turrialba-4 de crecimiento erecto y de grano negro.

3.2.4 Asociación de cultivos

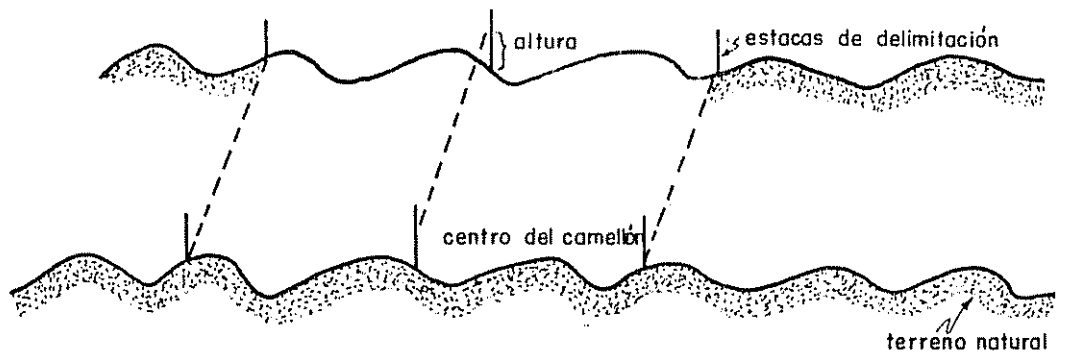
Se sembraron el maíz y el frijol en asociación, a la misma fecha, o sea, con 100 por ciento de superposición.

3.2.5 Época de cultivo y modo de siembra

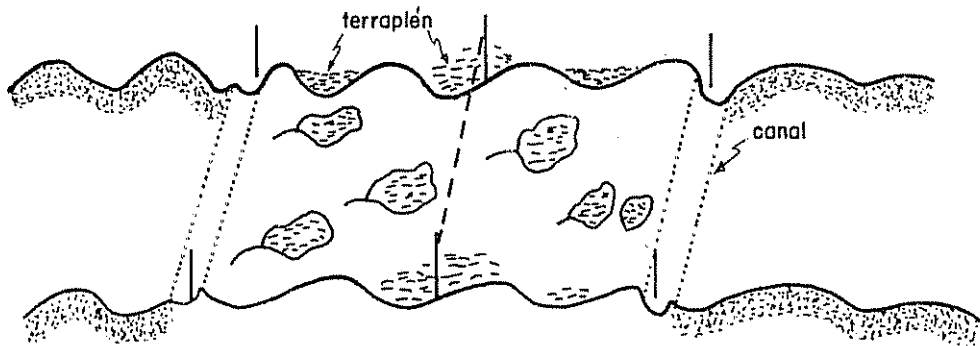
Una siembra simultánea se hizo el día 22 de mayo de 1975 y se cosechó el frijol el día 12 de agosto y el maíz el día 23 de setiembre. El maíz había sido previamente doblado el día 12 de setiembre.

La siembra fue manual haciendo el hoyo de siembra con un espeque. Las líneas de siembra eran perpendiculares a la pendiente de los camellones. Se echaron dos semillas de frijol por golpe y tres semillas de maíz por golpe. Luego se raleó dejando por golpe una plantita de frijol y dos

1) Delimitación del camellón

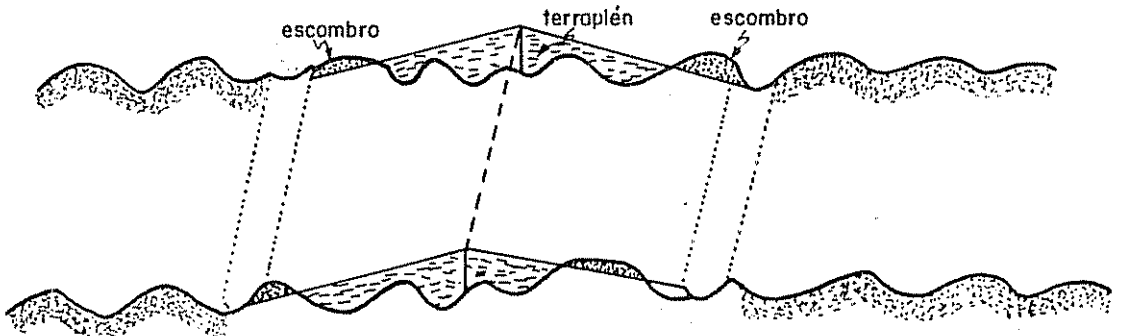


2) Excavación de canales de borde



3) Trabajos de escombro y de terraplén

Se vuelve a profundizar los canales que quedan como superficiales al mover suelo de la orilla de los camellones



4) Vista final del camellón

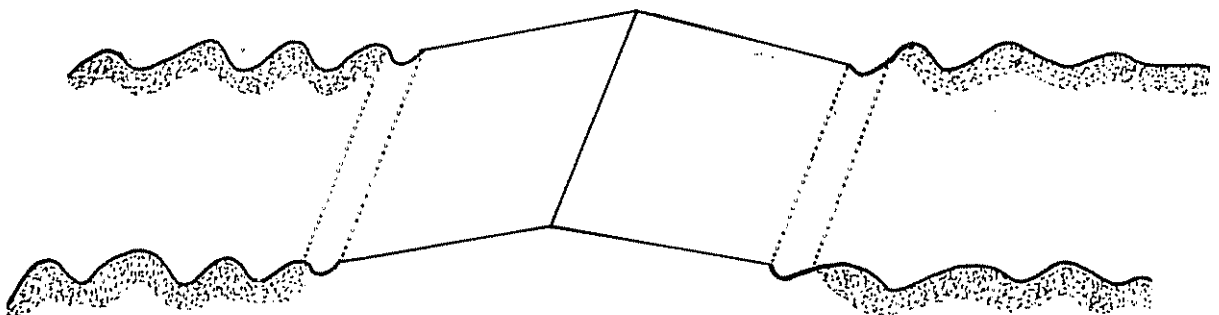


Fig. 1 Pasos importantes seguidos en la construcción de un camellón

plantitas de maíz.

3.2.6 Distancia de siembra

El frijol se sembró a las distancias de 0,50 m entre los surcos y de 0,20 m en el surco con una planta por golpe totalizando 100.000 plantas/hectárea.

El maíz se sembró a 1,00 m entre los surcos y a 0,50 m en el surco con dos plantas por golpe totalizando 40.000 plantas/hectárea. En la Fig. 2 se puede apreciar la distribución de las plantas según el ancho de los camellones y el grupo de camellones por parcela experimental.

3.2.7 Aplicación de fertilizantes

Por recomendación del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del CATIE, se aplicó una dosis fraccionada de abonos minerales a chorro continuo entre las líneas de cultivo, por lo cual se hizo un surco con azadón para echar el fertilizante y se volvió a tapar el surco con la misma herramienta:

- A la siembra
300 kg/ha (kilogramos/hectárea) de la fórmula 15-30-8 equivalente a 45 kg/ha de N, 90 kg/ha de P_2O_5 y 24 kg/ha de K_2O .
- 35 días después de la siembra
400 kg/ha de la fórmula 20-10-6-5 equivalente a 80 kg/ha de N, 40 kg/ha de P_2O_5 , 24 kg/ha de K_2O y 20 kg/ha de MgO .

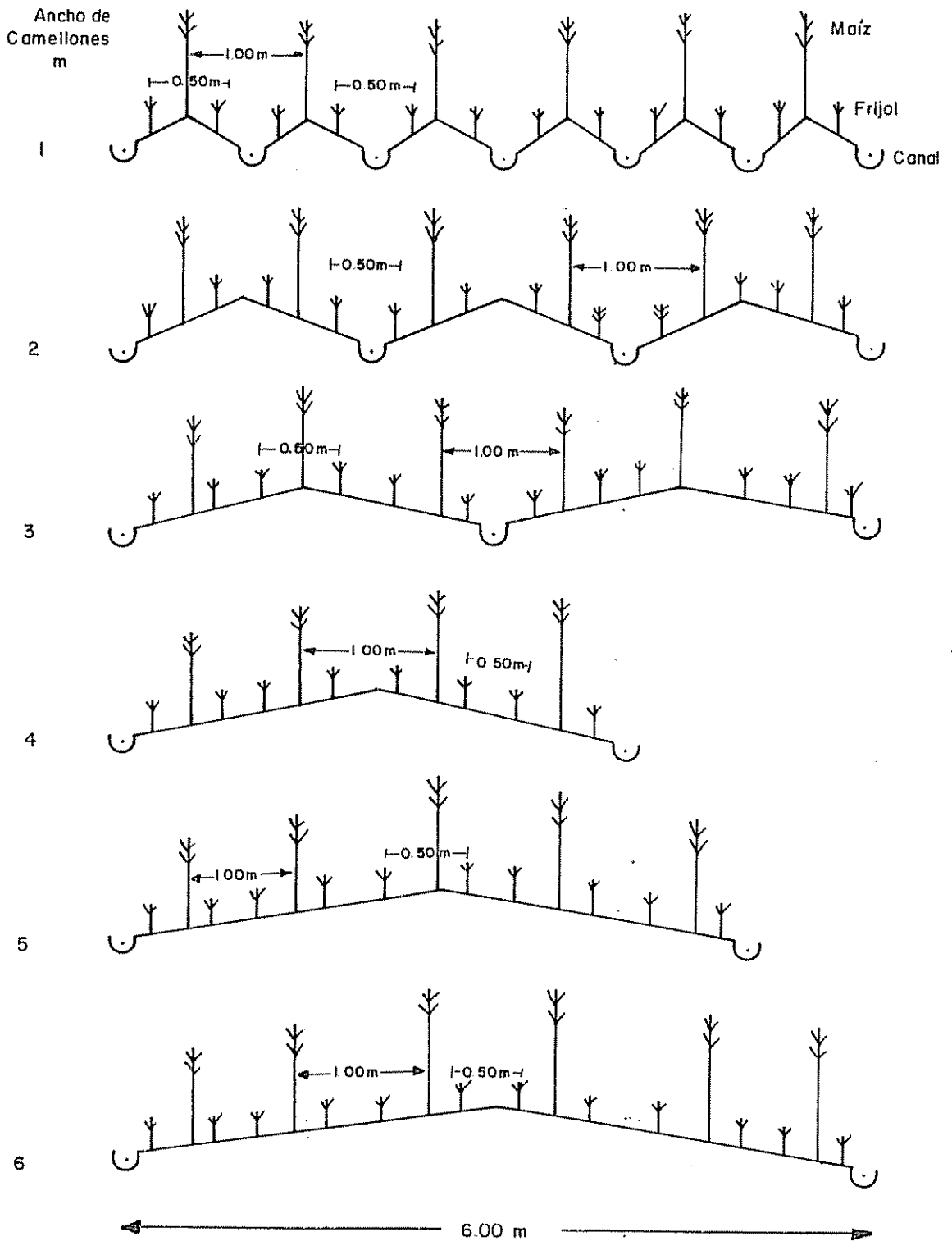


Fig. 2 Distribución de las plantas de maíz y frijol según la distancia de siembra, el ancho de los camellones y el grupo de camellones por parcela experimental

3.2.8 Deshierba

Se hizo una sola deshierba 15 días después de la siembra con machete y azadón ya que luego los cultivos logran cubrir totalmente el terreno.

3.2.9 Medidas fitosanitarias

Antes de la siembra, se aplicó Aldrín a la dosis de 23 kg/ha (kilogramos/hectárea), especialmente contra *Phyllorhaga* sp. Con una aplicación de Sevín a la dosis de 1 kg/ha, se controló un ataque de *Dia-brotica* en el frijol. En cuanto a control de las enfermedades observadas, no se aplicó ningún producto.

3.2.10 Evaluación del rendimiento

Se cosechó por tratamiento 25 m² para evaluar el rendimiento de frijol y 30 m² para evaluar el rendimiento del maíz. Los pesos conseguidos fueron corregidos a 13 por ciento de humedad para frijol y a 14 por ciento de humedad en el caso del maíz, según el procedimiento siguiente:

Se determinó la humedad de los granos (Ho) en base a peso húmedo tomando una muestra de los mismos:

$$H_o = \frac{P_h - P_s}{P_h} \times 100 \quad \boxed{8}$$

P_h = peso húmedo de los granos

P_s = peso seco de los granos, luego de permanecer en estufa a 70°C durante 72 horas

La ecuación $\boxed{8}$ se puede escribir en otra forma equivalente despejando P_s:

$$P_s = \frac{P_h (100 - H_o)}{100} \quad \underline{\underline{9}}$$

La ecuación $\underline{\underline{8}}$ también puede expresarse en función de la humedad deseada (HF) en la siguiente forma:

$$H_f = \frac{P_f - P_s}{P_f} \times 100 \quad \underline{\underline{10}}$$

P_f = peso de los granos a la humedad deseada

Sustituyendo P_s en la ecuación $\underline{\underline{10}}$ por su equivalente de la ecuación $\underline{\underline{9}}$, se consigue la ecuación general que da el peso final de los granos a cualquier humedad deseada:

$$P_f = \frac{P_h (100 - H_o)}{100 - H_f} \quad \underline{\underline{11}}$$

3.3 Diseño experimental

El diseño fue de bloques completos randomizados con cuatro repeticiones y siete tratamientos. Los tratamientos se arreglaron según el código siguiente:

Número	0	1	2	3	4	5	6
Ancho de camellón	Testigo	1	2	3	4	5	6

El testigo no tiene camellón.

El modelo estadístico es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij} \quad \underline{\underline{12}}$$

μ = media común

T_i = efecto del i tratamiento

B_j = efecto del j bloque

E_{ij} = error experimental

3.4 Análisis físicos

Todos los análisis físicos se hicieron en base a los métodos descritos por Forsythe (36). Para caracterizar la succión de agua del suelo, la penetrabilidad y la rata de difusión de oxígeno, se tomó como unidad de muestreo una parcela experimental, o sea un tratamiento. Se hizo el submuestreo en dos sitios dentro de un tratamiento considerando el centro y la orilla de los camellones. En cuanto a la penetrabilidad, se hizo el submuestreo en tres sitios considerando el centro, la orilla y entre el centro y la orilla (mediano) de los camellones.

Para caracterizar los demás parámetros físicos (densidad aparente, densidad de sólidos, humedad, porosidad, espacio aéreo, infiltración, conductividad hidráulica), se consideró una repetición (bloque) como unidad de muestreo y se hizo el muestreo en dos sitios. Las determinaciones se hicieron a tres profundidades (0-30 cm; 30-60 cm; 60-90 cm). Para medir el nivel freático, se utilizó una muestra por bloque.

3.4.1 Humedad gravimétrica

La humedad gravimétrica (H) se determinó según la ecuación siguiente:

$$H (\%) = \frac{M_0 - M_s}{M_s} \times 100 \quad \underline{\underline{13}}$$

M_0 = masa del suelo húmedo

M_s = masa del suelo secado al horno a una temperatura de 110°C por 24 horas

3.4.2 Densidad aparente

Se determinó la densidad aparente (ρ_a) según la técnica del cilindro de volumen conocido (36).

3.4.3 Densidad de sólidos

La densidad de los sólidos (ρ_s) del suelo se hizo midiendo el volumen desplazado por una masa conocida de suelo en un frasco volumétrico utilizando queroseno como líquido de desplazamiento (36).

3.4.4 Humedad volumétrica

La humedad volumétrica (Hv) es un valor derivado mediante la siguiente fórmula:

$$Hv = \frac{\rho_a}{\text{densidad del agua}} \times H \quad \underline{\underline{14}}$$

3.4.5 Porosidad total y espacio aéreo

La porosidad total (E) y el espacio aéreo (Ea) también son valores derivados mediante las ecuaciones siguientes:

$$E (\%) = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s} \right) \times 100 \quad \underline{\underline{15}}$$

$$Ea = E - Hv \quad \underline{\underline{16}}$$

3.4.6 Resistencia del suelo a la penetración de raíces

La resistencia del suelo a la penetración de raíces se midió con un penetrómetro estático que tiene un pistón de acero inoxidable de 5 mm de diámetro con una línea circunscrita en el pistón a 5 mm del extremo. Esta línea sirve como guía para la profundidad de penetración del pistón en el suelo (36). Las mediciones se hicieron después de la cosecha a profundidades de 0,00; 0,10 y 0,20 m.

3.4.7 Infiltración

Las medidas de infiltración se determinaron por el método de inundación usando un sistema de anillos concéntricos (36).

3.4.8 Conductividad hidráulica

Se determinó la conductividad hidráulica usando las muestras no alteradas que sirven en la determinación de la densidad aparente (36).

3.4.9 Succión de agua del suelo

La succión matricial se determinó colocando dos tensiómetros (con medidor de vacío de reloj) respectivamente en el centro y la orilla de los camellones para cada tratamiento a 25 cm de profundidad. Se hicieron las lecturas semanalmente.

3.4.10 Nivel freático

El nivel freático se determinó semanalmente midiendo el nivel del agua adentro de un tubo de 1,50 m de largo y de 0,057 m de diámetro interno previamente introducido en el suelo. El orificio inferior del tubo está recubierto de una malla metálica y se puso un tapón de hule en el orificio superior.

3.4.11 Rata de difusión de oxígeno (RDO)

La rata de difusión de oxígeno se midió con el aparato de microelectrodo de platino basado en los principios siguientes (77):

- a) La corriente resultando de la reducción electrolítica del oxígeno a un electrodo de metal depende solamente de la rata según la cual el oxígeno difusa de la solución que rodea el electrodo a la superficie del mismo.

- b) el oxígeno es reducido a la superficie del electrodo de platino produciendo una corriente proporcional a la rata según la cual el oxígeno difusa de la solución que rodea el electrodo a la superficie del mismo electrodo.
- c) se aplica un voltaje entre los polos positivo y negativo para provocar la reducción.

La relación entre la intensidad de corriente y la rata de flujo de oxígeno en la superficie del electrodo viene dada por la siguiente ecuación:

$$i \times 10^{-6} = n F A f \quad \underline{\underline{[17]}}$$

i = intensidad de corriente eléctrica en micro-amperios

n = número de electrones requeridos para la reducción de una molécula de oxígeno

F = constante de Faraday

A = área de exposición del electrodo de platino (cm^2)

f = flujo o rata de difusión de oxígeno en la superficie del electrodo en número de moles de oxígeno por segundo/ cm^2 .

Para el manejo del equipo se siguieron las normas de Letey y Stolzy (78).

El cálculo del RDO se hizo directamente de la fórmula de trabajo:

$$\text{RDO} = \frac{i \times 10^{-6} \times 60 \times 32 \times 10^6}{4 \times 96500 \times A} \quad \underline{\underline{[18]}}$$

RDO = rata de difusión de oxígeno en g de $O_2 \times 10^{-6}$
 $cm^{-2} \min^{-1}$

i = intensidad de corriente eléctrica en micro-amperios

A = área del electrodo de platino en cm^2

Se midió la rata de difusión de oxígeno en tres épocas que correspondieron a las siguientes etapas de crecimiento:

Epoca 1 = floración en frijol y panza en maíz

Epoca 2 = fructificación en frijol y floración en maíz

Epoca 3 = fructificación en maíz

3.5 Balance hídrico

El balance hídrico atmosférico (precipitación-evaporación del tanque A), se calculó en base a datos registrados por la Estación Meteorológica del CATIE en Turrialba. Se interpretaron los datos registrados durante el transcurso del experimento mediante las previsiones probabilísticas de balance hídrico calculados por Amézquita (3) para la misma zona en base a 30 años de observación.

3.6 Análisis químicos

Se hizo el muestreo después de la cosecha para determinar si hubo diferencias en el contenido de elementos nutritivos entre el centro y la orilla de los camellones. Se tomaron muestras compuestas con tres submuestras en cada tratamiento a una profundidad de 0-30 cm. Se muestrearon en forma independiente el centro y la orilla de los camellones. En los camellones de 1 m de ancho, el muestreo de la orilla se hizo en la hilera del frijol. En los demás camellones, el muestreo de la orilla

se hizo en la última hilera de maíz, es decir, a 0,50 cm del canal que rodea los camellones (Fig. 2).

También se hizo un muestreo preliminar a los 30 días de crecimiento de las plantas. Este muestreo solamente se hizo en cuatro camellones mayores escogidos al azar del grupo de 12 camellones mayores en los cuales el maíz tuvo mejor crecimiento en la orilla que en el centro de los camellones. Los camellones mayores son los de 4, 5 y 6 m de ancho. El muestreo de la orilla de aquellos camellones también se realizó en la última hilera de maíz, o sea, a 0,50 cm del canal que rodea los camellones.

3.6.1 Reacción del suelo (pH)

Para la determinación del pH, se siguió el método internacional descrito por Saíz del Río y Bornemisza (107) y se determinó el pH en agua (relación agua/suelo 2,5 : 1,0) y en solución de KCl 1M (solución/suelo 2,5 : 1,0).

3.6.2 Nitrógeno total

La determinación del nitrógeno total se hizo por el método micro-Kjeldahl según Bremner (17).

3.6.3 Fósforo disponible

La determinación del fósforo disponible se realizó mediante el método de Olsen (96), modificado por Hunter (60).

3.6.4 Bases cambiables

Las bases cambiables Ca, Mg, K, Na, Mn, se determinaron según el método de Díaz-Romeu y Balerdi (27).

3.6.5 Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico se hizo por el método del acetato de amonio descrito por Díaz-Romeu y Balerdi (27).

3.7 Análisis económico

Se registraron los costos variables durante el transcurso del experimento. Se calculó el margen bruto mediante la fórmula:

$$\text{Margen bruto} = \text{Ingreso bruto} - \text{Costos variables} \quad [19]$$

Para determinar la utilidad de los camellones e identificar el camellón que maximiza la razón beneficio adicional/costo adicional, se registró y se calculó lo siguiente:

- a) El costo adicional de los camellones en forma independiente sobre el testigo sin camellón.
- b) El costo adicional de los camellones amortizado según un período de vida de 20 años.
- c) El costo de mantenimiento de los camellones por año, que se determinó mediante el costo de limpieza de los canales que rodean los camellones, por lo cual se vuelve a componer los canales con sus profundidades, tamaño y forma originales después de un año.
- d) El ingreso incremental o el ingreso adicional que proporcionan los camellones sobre el testigo sin camellón.
- e) El costo adicional marginal y el ingreso incremental marginal.

El análisis se hizo con base de una sola cosecha por año aunque exista posibilidades para más de una cosecha.

3.8 Análisis estadístico

3.8.1 Análisis de varianza

Se hizo el análisis de varianza usando la prueba de Fisher. Se compararon los tratamientos individuales mediante la prueba de Duncan. El análisis de las características físicas y químicas del suelo se hizo según el arreglo de parcelas divididas considerando como parcelas pequeñas los datos del centro y de la orilla de los camellones.

3.8.2 Análisis de regresión

Se realizaron varios análisis de regresión probando los modelos siguientes:

$$\text{Lineal} \quad y_1 = b_0 + b_1 x_i \quad \underline{\underline{[20]}}$$

$$\text{Cuadrática} \quad y_1 = a + b_1 x_i + b_2 x_i^2 \quad \underline{\underline{[21]}}$$

$$\text{Logarítmica} \quad y_1 = b_0 x_i^{b_1} \quad \underline{\underline{[22]}}$$

$$\text{Geométrica} \quad y_1 = b_0 b_1^{x_i} \quad \underline{\underline{[23]}}$$

$$\text{Raíz cuadrática} \quad y_1 = b_0 + b_1 x_i + b_2 \sqrt{x_i} \quad \underline{\underline{[24]}}$$

$$\text{Gama} \quad y_1 = b_0 e^{-b_1 x_i} x_i^{b_2} \quad \underline{\underline{[25]}}$$

y_1 = variables de respuestas o variables dependientes

x_1 = variables causales o variables independientes

b_0, b_1, b_2 = constantes

e = número de Euler

Los resultados experimentales fueron procesados en una computadora IBM 1130.

4. RESULTADOS

4.1 Aspectos generales de los cultivos

El maíz tuvo mayor desarrollo en la orilla que en el centro de los camellones de 4, 5 y 6 m de ancho. Este efecto, que llamaremos de allí en adelante "efecto de orilla", no debe tomarse como efecto de borde; lo que se observó fue cómo una gradiente de mejor crecimiento desde el centro hacia la orilla de los camellones aunque no se manifestaron síntomas de deficiencia en las hojas de las plantas, que se encontraban en el centro. El efecto de orilla no se observó aparentemente en el frijol.

Las enfermedades que se presentaron en el frijol fueron: mustia del frijol (*Thanatephorus cucumeris*), mancha angular (*Isariopsis griseola*) y antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*). El frijol fue mucho más afectado por la mustia que tuvo su mayor desarrollo a los 60 días de crecimiento provocando una defoliación completa y uniforme en todas las parcelas.

Debido a las condiciones de humedad atmosférica que prevalecieron durante la maduración de los granos, se registraron pérdidas por germinación de los mismos antes de la cosecha. Las pérdidas fueron de 5 por ciento del rendimiento promedio de todos los tratamientos en caso del maíz y de 10 por ciento del rendimiento promedio de todos los tratamientos en lo que se refiere al frijol.

4.2 Rendimiento de los cultivos

4.2.1 Frijol

Hubo diferencias significativas entre los diferentes tratamientos

a nivel de 95 por ciento de probabilidad. En los Cuadros A2 y A3 se presentan, respectivamente, el análisis de varianza y la prueba de Duncan correspondientes. Los rendimientos de frijol en camellones de 1, 2, 3 y 4 m de ancho fueron significativamente diferentes al rendimiento del testigo sin camellones.

La función de respuesta del frijol a los distintos anchos de camellón se ajusta mejor a una función gama como se ve en la Fig. 3. El rendimiento máximo lo tuvieron los camellones de 3 m de ancho con 1.050 kg/ha. El testigo sin camellones dio el rendimiento mínimo de 593 kg/ha.

4.2.2 Maíz

El análisis de los datos de rendimiento de maíz no mostró diferencias significativas entre los diferentes tratamientos por el análisis de varianza que se ve en el Cuadro A4. Por prueba de Duncan presentada en el Cuadro A5, se detectó una diferencia significativa a nivel de 95 por ciento de probabilidad entre el testigo y los camellones de 1 m de ancho.

La función de respuesta del maíz, según los distintos anchos de camellones, también se ajusta mejor a una función gama como se ve en la Fig. 4. El testigo tuvo el rendimiento máximo de 3.100 kg/ha y el rendimiento mínimo bajó a 2.575 kg/ha en los camellones de 1 m de ancho.

4.2.3 Frijol y maíz

En la Fig. 3 se puede apreciar la correlación negativa que existe entre los rendimientos de frijol y de maíz, según el ancho de los

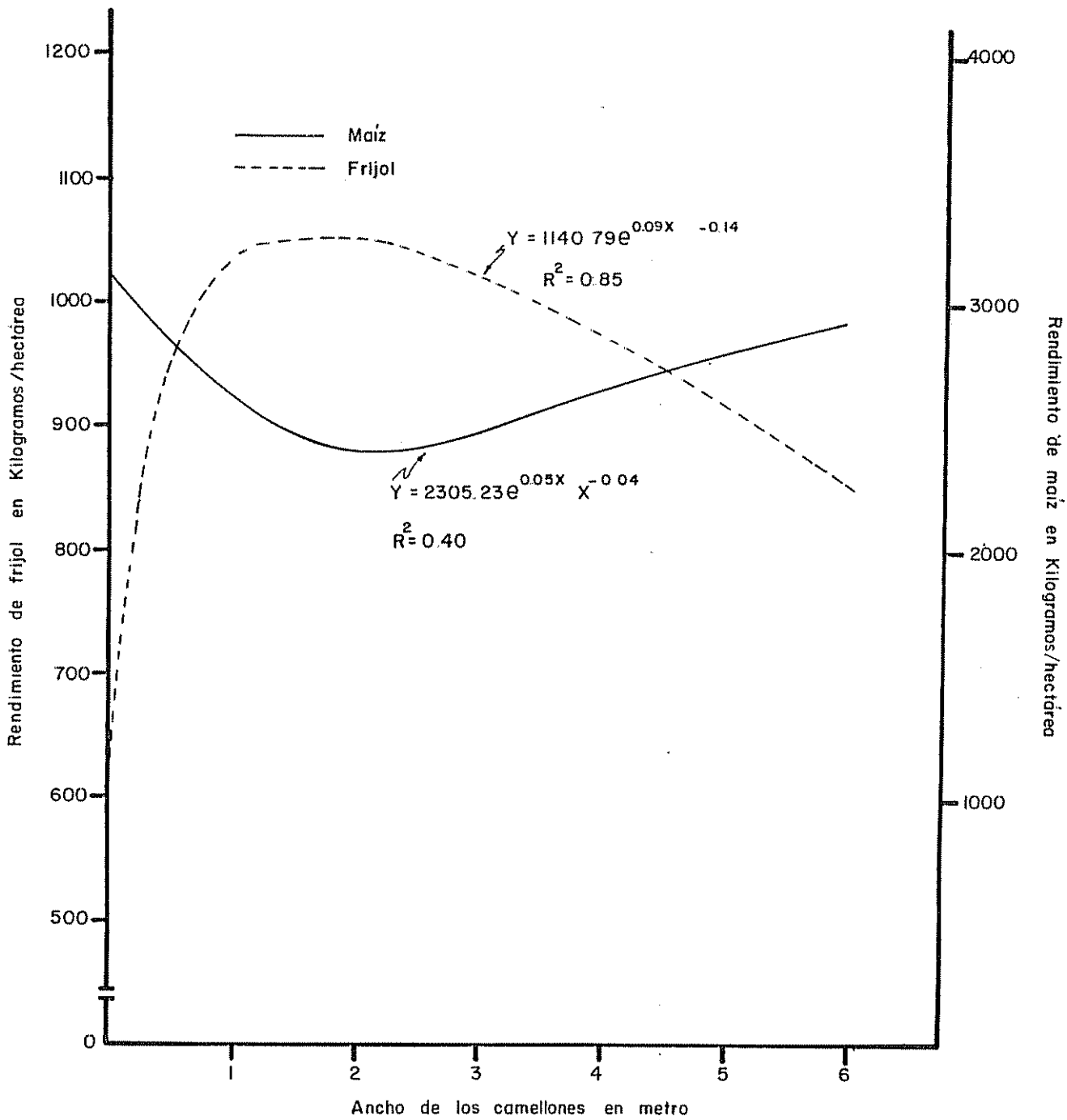


Fig. 3 Relación entre los rendimientos de frijol y maíz según el ancho de los camellones

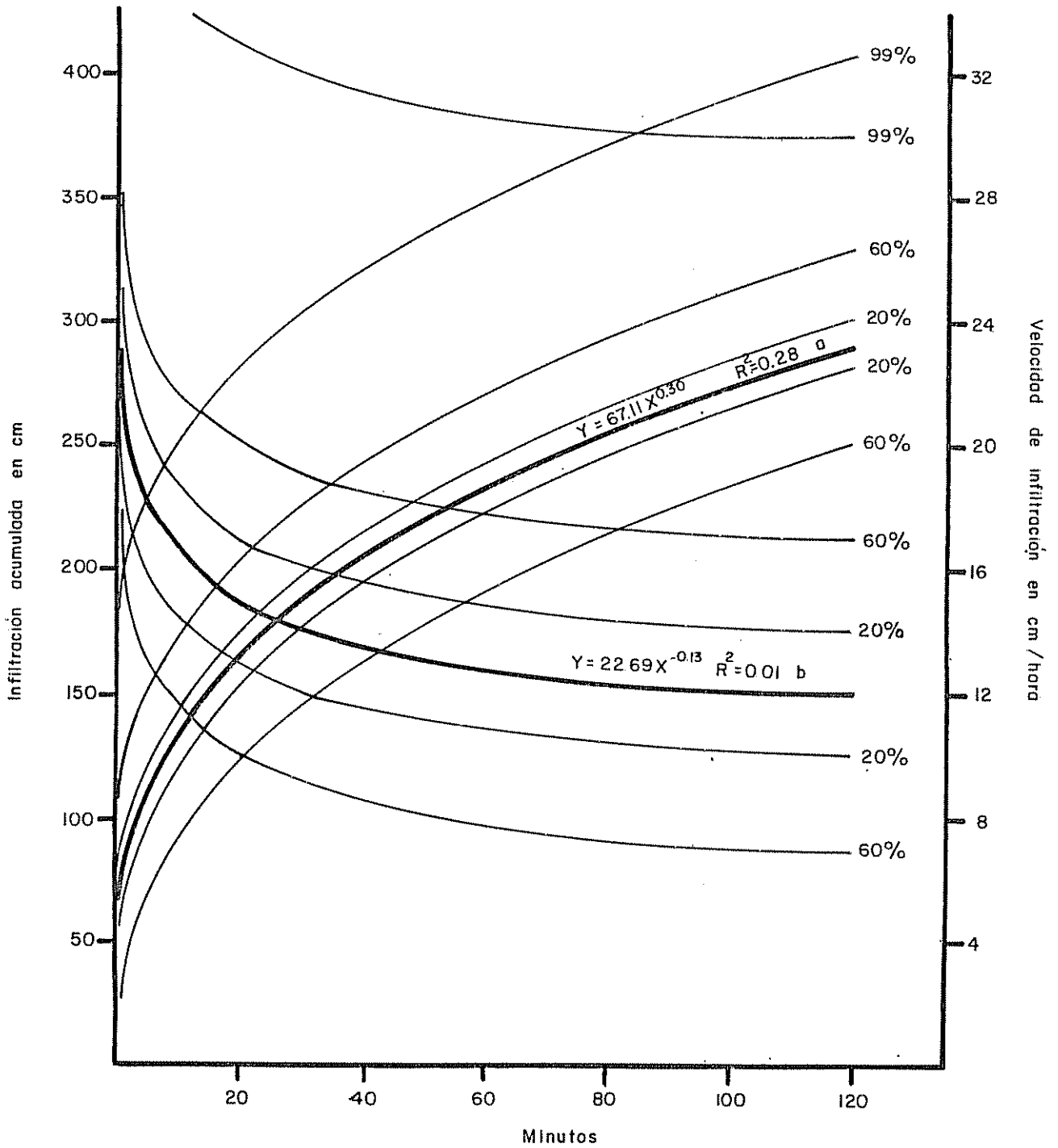


Fig. 4 Comportamiento de la infiltración del suelo en función del tiempo con límites de confianza indicados. a) Infiltración acumulada. b) Velocidad de infiltración

camellones. El coeficiente de correlación ($r = -0,93$) es significativo a nivel de 99 por ciento de probabilidad.

4.3 Análisis físicos

4.3.1 Humedad, densidad aparente, densidad de sólidos, porosidad y espacio aéreo

Los datos que se muestran en el Cuadro A6, representan los promedios y desviaciones estándar de los valores de humedad gravimétrica, densidad aparente, humedad volumétrica, densidad de sólidos, porosidad y espacio aéreo. Los valores medios de humedad gravimétrica, densidad aparente, humedad volumétrica, densidad de sólidos y porosidad no variaron mucho con los tres niveles de profundidad.

En la zona radical (0-30 cm de profundidad) y a capacidad de campo, el espacio aéreo se mantuvo alrededor de un valor de 17 por ciento mientras que bajó a 11 por ciento para profundidades mayores.

4.3.2 Resistencia del suelo a la penetración de raíces

Los valores de resistencia a la penetración obtenidos, corresponden a una succión de agua del suelo equivalente a 0,01 bar.

En la superficie del suelo, no se detectaron diferencias significativas entre bloques, entre tratamientos y entre distintos sitios dentro de los camellones. El promedio general de los valores de resistencia a la penetración fue de 4,1 bares. Aparece en el Cuadro A7 el análisis de varianza correspondiente.

A una profundidad de 10 cm, tampoco hubo diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí lo hubo entre los distintos sitios

de los camellones a nivel de 99 por ciento de probabilidad. En el centro y en la cuarta parte de los camellones, se observaron respectivamente un promedio general de 3,93 y 4,42 bares, mientras que en la orilla de los camellones la resistencia a la penetración alcanzó 12,61 bares como promedio general. En los Cuadros A8 y A9 se dan los análisis pertinentes.

A 20 cm de profundidad, los valores de resistencia a la penetración siguieron la misma tendencia que la observada a 10 cm, salvo leves diferencias. De hecho, los camellones de 1 y 5 m de ancho salieron con diferencias significativas a nivel de 95 por ciento de probabilidad con respecto al testigo. El testigo tuvo el valor promedio máximo de 13,25 bares como resistencia a la penetración. Pero, no hubo diferencias significativas entre los diferentes anchos de camellones. Se pueden apreciar las diferencias significativas en los Cuadros A10 y A11.

4.3.3 Infiltración

Los valores de infiltración resultaron ser muy variables en las parcelas donde se instaló el experimento. Eso se manifestó en el bajo ajuste de los datos de varias repeticiones a la función logarítmica que expresa el fenómeno. En la Fig. 4 se ve la ecuación que caracteriza el suelo con su cinturón de confianza. El suelo se caracteriza por un valor estimado de la velocidad de infiltración muy alta de 12 cm/hora.

4.3.4 Conductividad hidráulica

Los valores de la conductividad hidráulica, según diferentes

profundidades, se dan en el Cuadro A12 con sus errores estándar. Los valores promedios son respectivamente de 0,80; 1,38; 0,25 m/día a 0-30 cm; 30-60 cm y 60-90 cm de profundidad. El suelo tiene una permeabilidad moderada según las clases de permeabilidad de perfiles de suelo del U.S. Bureau of Plant Industry and Agricultural Engineering (126).

4.3.5 Succión de agua del suelo

La succión de agua del suelo muestra diferencias significativas entre las distintas semanas de crecimiento a nivel de 99 por ciento de probabilidad pero no entre las repeticiones y los tratamientos. En los Cuadros A13 y A14, se presentan los análisis de varianza correspondientes. Los valores de succión que muestran la variación de la misma, según las semanas de crecimiento, se ven en el Cuadro A15 y se grafica en la Fig. 5.

4.3.6 Rata de difusión de oxígeno (RDO)

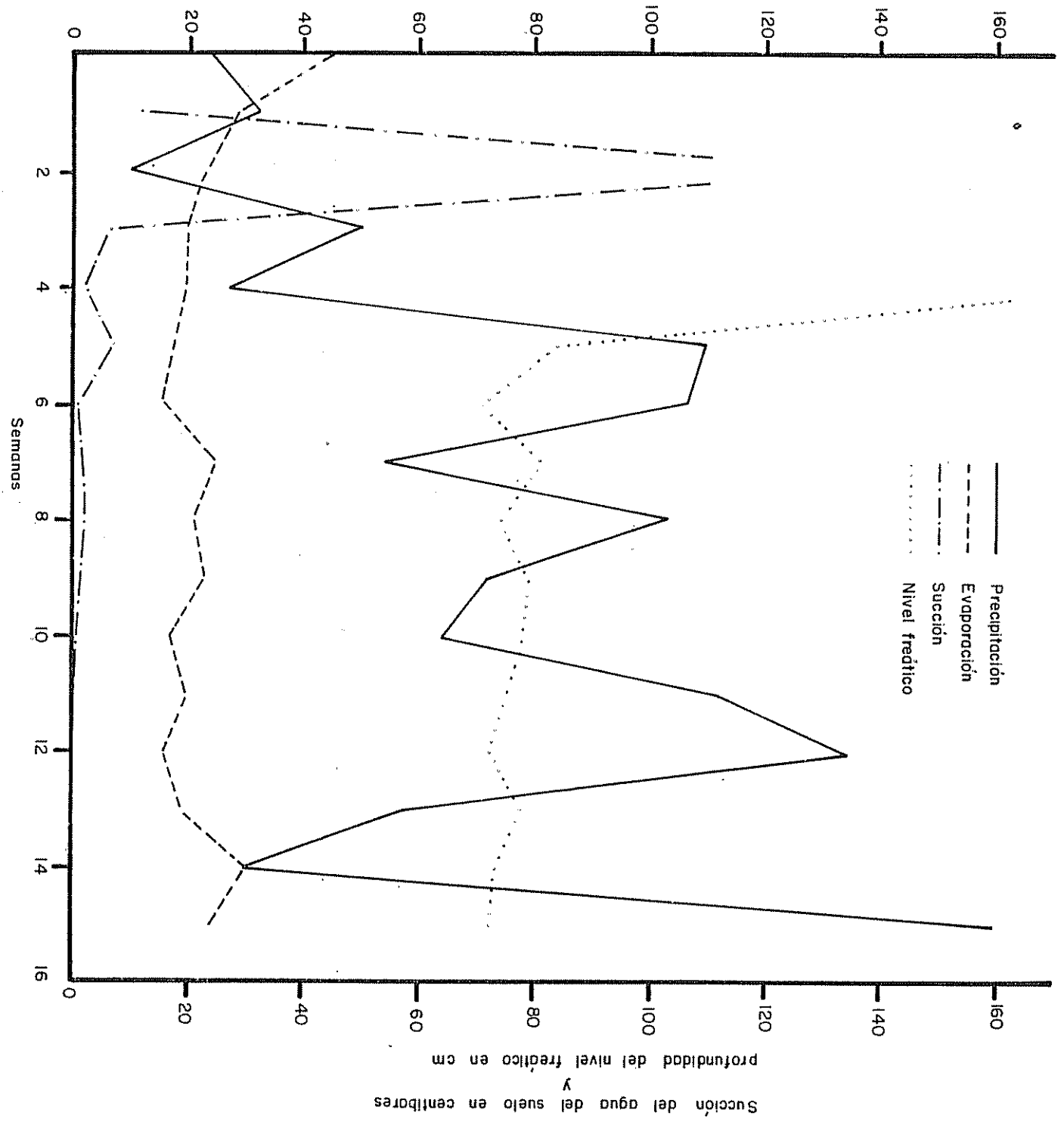
Como se ve en los Cuadros A16 y A17, no hubo diferencias significativas para la rata de difusión de oxígeno entre los bloques y entre los tratamientos. Pero, entre las diferentes etapas de crecimiento se detectaron diferencias significativas a nivel de 99 por ciento de probabilidad.

En la Fig. 6 se ve la relación entre la RDO y las diferentes etapas de crecimiento con sus errores estándar.

4.3.7 Nivel freático

En el Cuadro A18 se muestran los valores promedios del nivel

Precipitación y evaporación en mm



Rata de difusión de oxígeno en $\text{gcm}^{-2} \text{min}^{-1} \times 10^{-8}$ (gramo/centímetro²/minuto)

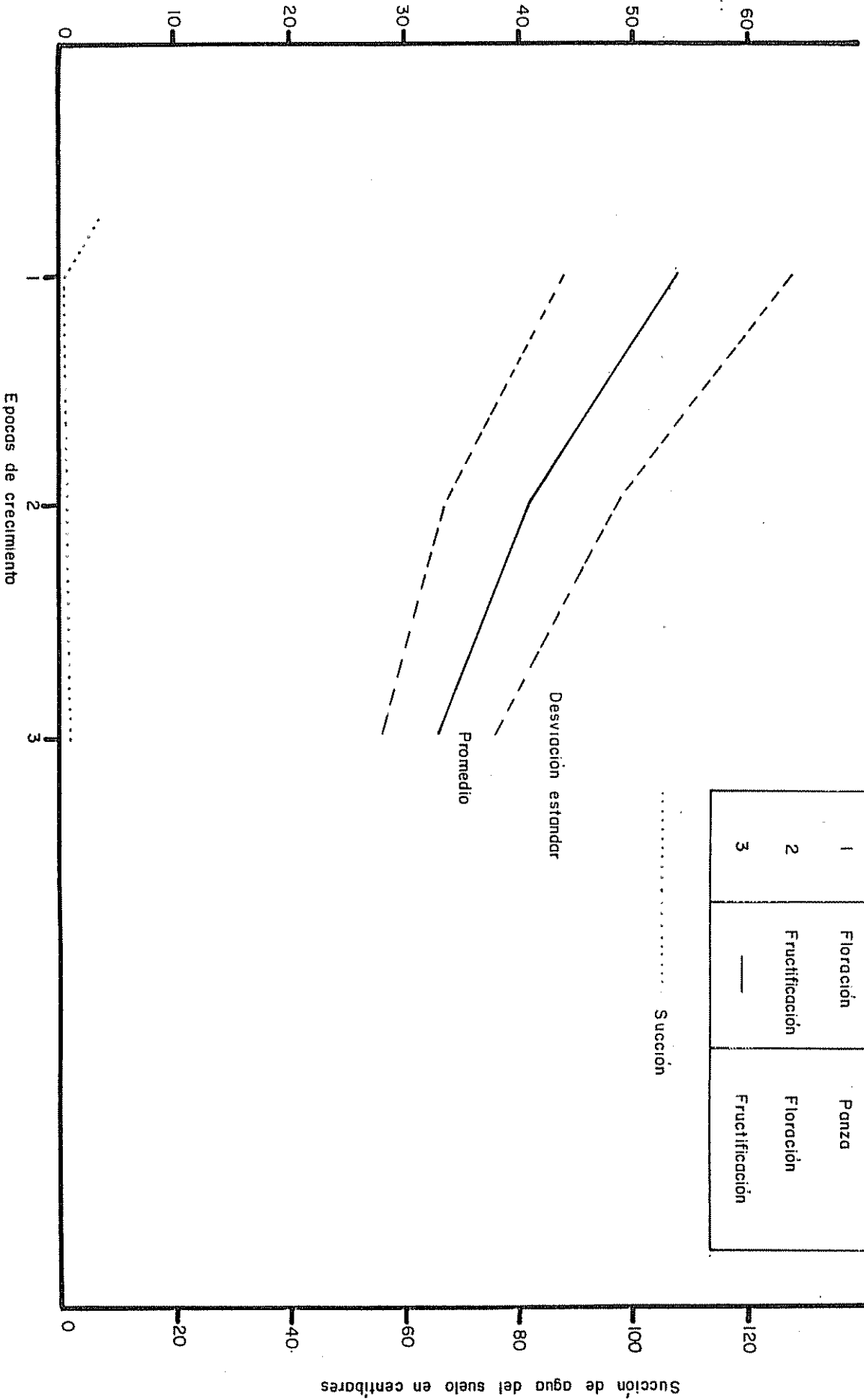


Fig. 6 Relación entre la rata de difusión de oxígeno (RDO) y tres épocas de crecimiento con los valores promedios de RDO determinados en los tratamientos y sus desviaciones estándar

freático con sus errores estándar. El valor mínimo registrado fue de 0,71 m durante la sexta semana. Durante las cuatro primeras semanas del experimento, el nivel freático era superior a 1,50 m. En la Fig. 5, se pueden apreciar las variaciones del nivel freático durante el experimento.

4.4 Balance hídrico

Los valores de precipitación, de evaporación de tanque y de balance hídrico climático, se dan en el Cuadro A19 y se grafican en la Fig. 5. Cayeron durante las 15 semanas del experimento como 1110,9 mm de lluvia, siendo el balance hídrico correspondiente de 808,9 mm.

En el Cuadro A20, se ven los valores de probabilidad de tener un balance hídrico mensual de 150 mm y más, juntos con los datos de balance hídrico observado. Salvo el mes de junio, se ha conseguido un balance hídrico mayor de 150 mm durante los distintos meses de permanencia del experimento en el campo.

4.5 Análisis químicos

4.5.1 Reacción del suelo

El promedio general de los valores de pH determinado en agua fue de 5,2. No hubo diferencias significativas entre bloques, entre tratamientos y entre distintos sitios dentro de los camellones. Aparece en el Cuadro A21 el análisis de varianza correspondiente.

Un promedio general de 4,1 de pH se consiguió midiéndole en solución de KCl. Tampoco hubo diferencias significativas entre bloques, entre tratamientos y entre distintos sitios dentro de los camellones. Se

ve en el Cuadro A22 el análisis de varianza correspondiente.

4.5.2 Nitrógeno total

Los valores de nitrógeno total medido después de la cosecha, presentaron un promedio general de 0,26 por ciento. No se detectaron diferencias significativas entre bloques y entre tratamientos. Pero, sí hubo diferencias significativas a nivel de 99 por ciento de probabilidad entre el centro y la orilla de los camellones. El análisis de varianza se ve en el Cuadro A23.

Se puede apreciar en el Cuadro A24 la comparación de las medias según los tratamientos y según los sitios dentro de un tratamiento. La diferencia significativa observada entre el centro y la orilla de los promedios de los distintos camellones es debida solamente a una diferencia de 0,01 por ciento a favor de la orilla. No obstante, esa diferencia de 0,01 por ciento equivale a 240 kg/ha de nitrógeno (densidad aparente de 1,20 g/cm³ y hasta una profundidad de 0,20 m).

4.5.3 Fósforo disponible

Las parcelas tuvieron un contenido promedio de fósforo disponible de 36,61 ppm. No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Sin embargo, se encontraron un valor promedio de 38,50 ppm en los centros de los camellones y de 34,70 ppm en las orillas de los mismos. Esa diferencia fue significativa a nivel de 5 por ciento por prueba de Duncan. Los distintos análisis se ven en los Cuadros A25 y A26.

4.5.4 Potasio cambiabile y suma de bases cambiabiles

El promedio general de los valores de potasio cambiabile fue de 0,40 meq/100 g de suelo (miliequivalente/100 gramo). No hubo diferencias significativas entre bloques y entre tratamientos. Pero, en cuanto a sitios (centro y orilla de los camellones), se detectaron diferencias significativas a nivel de 99 por ciento de probabilidad en favor del centro sobre la orilla de los camellones. Los resultados pertinentes se ven en los Cuadros A27 y A28.

En lo que se refiere a suma de bases cambiabiles (K, Ca, Mg, Na), no hubo diferencias significativas ni entre bloques, ni entre tratamientos y tampoco entre sitios. El promedio general de todas las parcelas fue de 4,39 meq/100 g de suelo. Se presenta el análisis de varianza correspondiente en el Cuadro A29.

4.5.5 Capacidad de intercambio de cationes

Se caracteriza el suelo estudiado por un promedio general de 15 meq/100 g de suelo, como capacidad de intercambio de cationes. No hubo diferencias significativas entre tratamientos y entre distintos sitios de los camellones (centro y orilla). Se presentó el análisis de varianza correspondiente en el Cuadro A30.

4.6 Análisis económico

4.6.1 Costos e ingresos del experimento

La lista de los costos variables (mano de obra e insumos), registrados durante el experimento se ve en el Cuadro A32. El total de estos costos variables alcanzó un valor de ₡7.487,58 (colones) por hectárea. La mano de obra representó 85 por ciento de este valor total.

El ingreso total por hectárea alcanzó $\text{₡}9.149,00$. Los detalles del cálculo aparecen en el Cuadro A33. Como resultado de las cifras anteriores hay un margen bruto de $\text{₡}1.661,42$ por hectárea.

4.6.2 Rentabilidad del sistema de camellones

El análisis de la rentabilidad del sistema de camellones se basa en la presuposición de que, a condiciones iguales, todas las otras labores de cultivo son iguales tanto en un sistema de camellones como en un sistema sin ellos. La única diferencia entre los dos sistemas sería, precisamente, el uso de los camellones que equivaldría a un trabajo adicional con su costo adicional e ingreso adicional, si lo hay. Estos costos incluyen construcción de los camellones, en primer lugar, y su mantenimiento subsecuente.

4.6.2.1 Horas de trabajo gastadas en hacer los camellones

Las horas de trabajo gastadas en hacer inicialmente los camellones, según su ancho respectivo, se ajustan a una función gama como se ve en la Fig. 7. El número de horas disminuye entre los camellones de 1 y 2 m y aumenta a partir de los camellones de 3 m para alcanzar un máximo en los camellones de 6 m de ancho.

4.6.2.2 Costo de los camellones según su ancho respectivo correspondiente a un período de ocupación del terreno de cuatro meses

El cálculo del costo de los camellones, según su ancho respectivo correspondiente a un período de ocupación del terreno de cuatro meses,

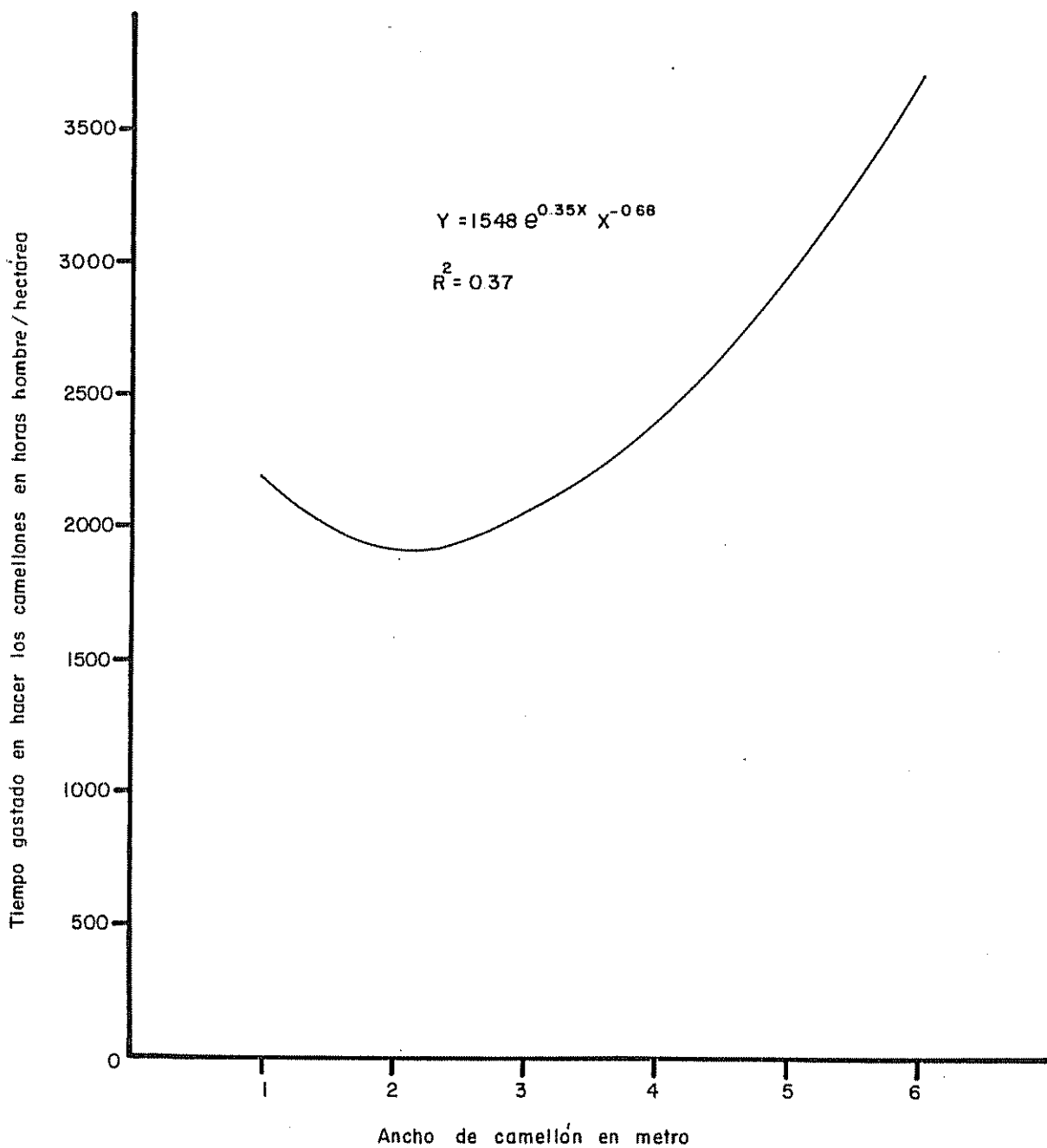


Fig. 7 Relación entre horas de trabajo gastadas en hacer los camellones y el ancho respectivo de los camellones

se detalla en el Cuadro A34. El costo inicial total de los camellones se amortizó asumiendo una duración de vida de 20 años. La cifra presentada se obtiene sumando el costo anual amortizado, en horas/hombre de trabajo y el costo de mantenimiento anual de los camellones según su ancho respectivo. Esta suma se dividió por 3 ya que el experimento ocupó el terreno durante cuatro meses solamente. Esto considera la posibilidad de obtener otras cosechas durante el resto del año.

En la Fig. 8, se puede apreciar la relación entre el costo amortizado de los camellones según un período de cuatro meses y su ancho respectivo. Esta relación se presenta en horas/hombre/hectárea y en unidades monetarias (colones). Los valores de costo disminuyen desde los camellones de 1 m hasta los de 3 m de ancho. Luego, aumentan a partir de los camellones de 3 m hasta los de 6 m de ancho, por lo cual el camellón de 3 m presentó el costo adicional mínimo. Los costos amortizados presentados son costos adicionales en relación a los testigos que no tienen camellones. El precio de la mano de obra usada fue de ₡2,50 (US\$1.00 = ₡8,54) por hora.

4.6.2.3 Ingreso adicional bruto debido al uso de los camellones

El ingreso adicional bruto se calculó sustrayendo el ingreso producido por el testigo del ingreso obtenido en los camellones según su ancho respectivo. El precio por kilogramo de frijol fue de ₡5,00 y el precio por kilogramo de maíz fue de ₡1,67 en el mercado de Turrialba, al momento de su cosecha respectiva. La relación entre el ingreso adicional bruto y el ancho de los camellones se muestra en la Fig. 9. El camellón

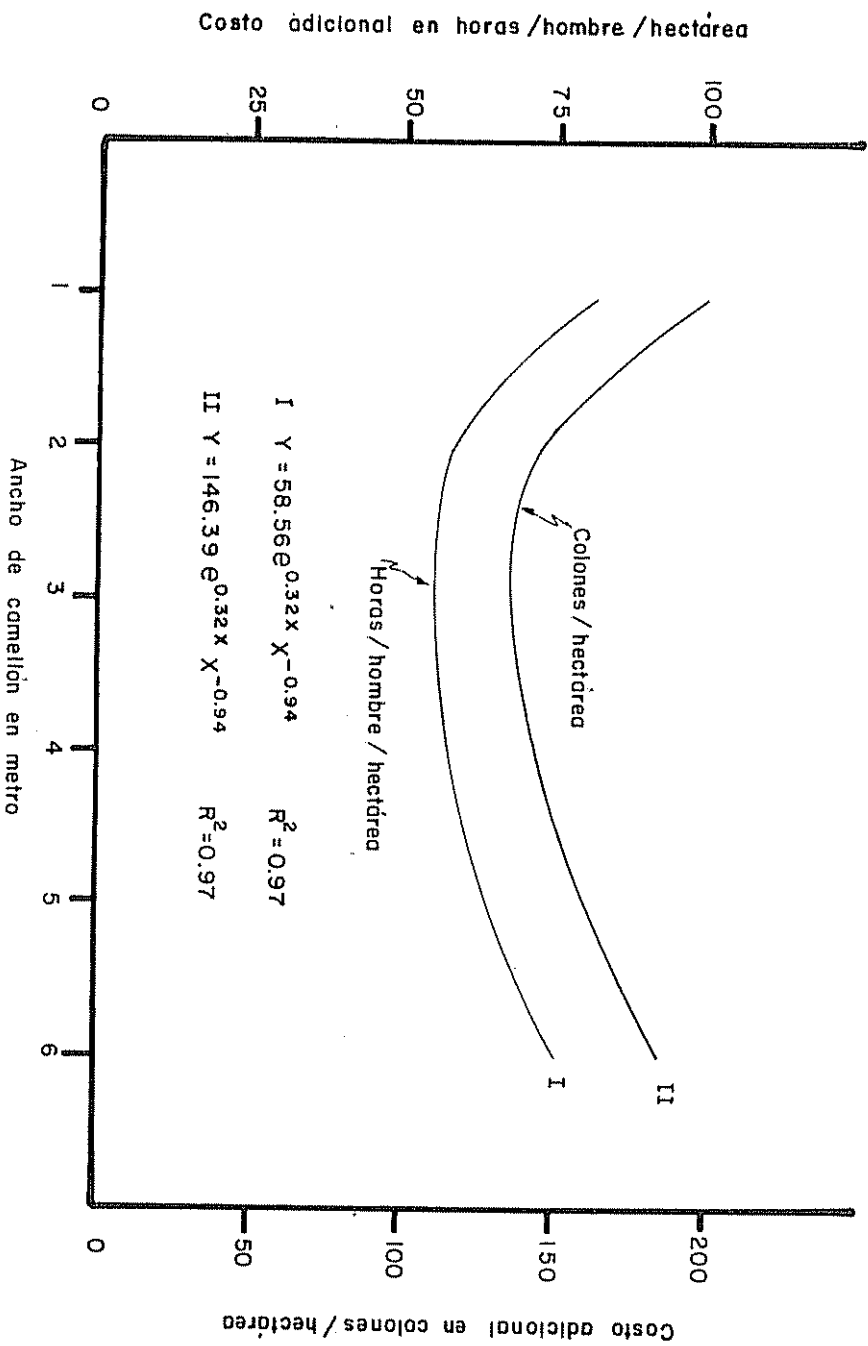


Fig. 8 Relación entre el costo adicional por uso de los camellones durante un período de 4 meses y el ancho respectivo de los mismos

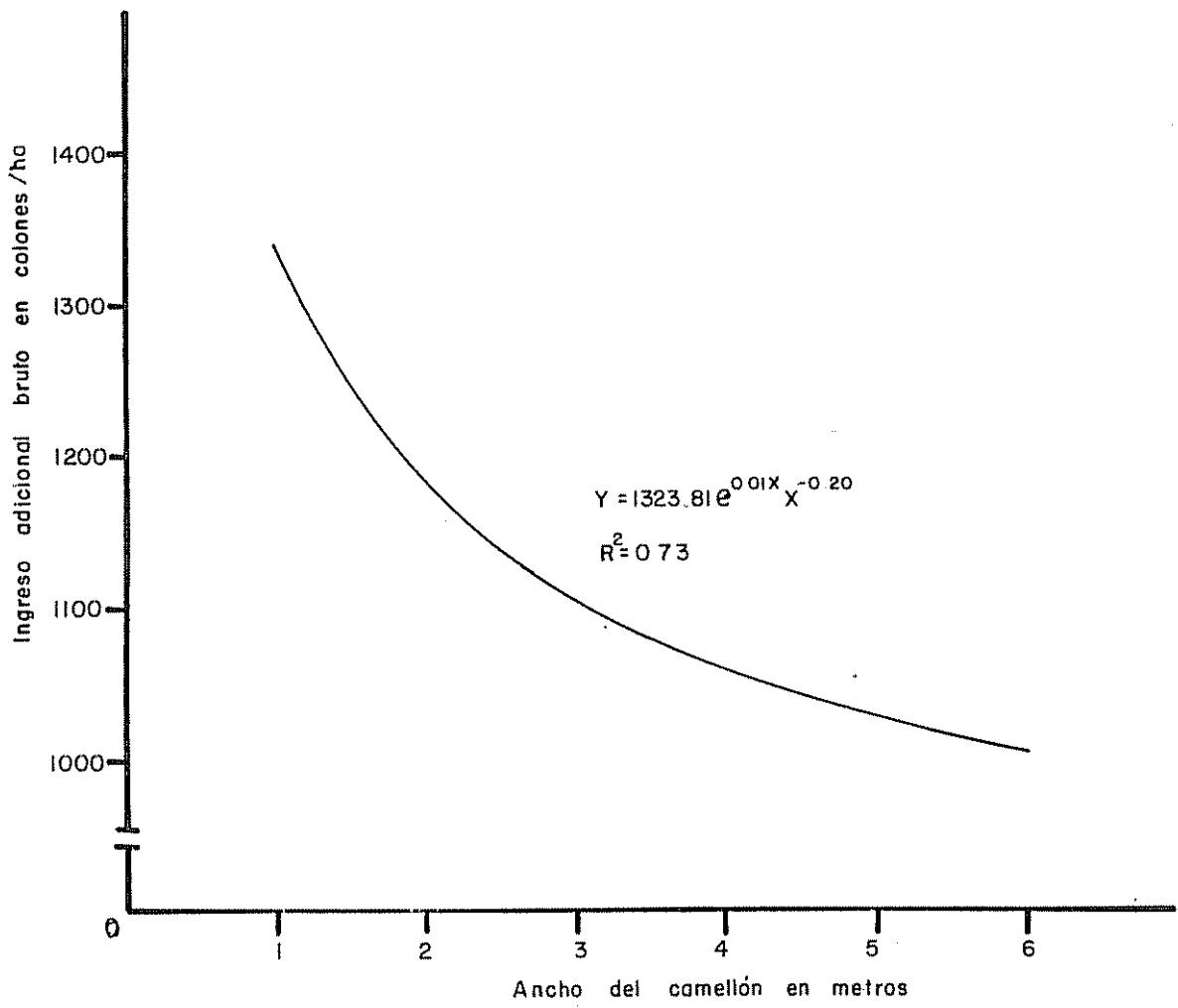


Fig 9 Relación entre ingreso adicional bruto producido en los camellones y su ancho respectivo

de 1 m de ancho produjo el valor máximo de ingreso adicional bruto y el mínimo lo tuvo el camellón de 6 m de ancho.

4.6.2.4 Maximización del beneficio adicional neto y de la razón beneficio adicional neto/costo adicional

El ancho de camellón que maximiza el beneficio adicional neto se calculó de dos maneras: (a) por diferencia entre el ingreso adicional bruto y el costo adicional como se puede apreciar en el Cuadro A35; (b) determinándolo matemáticamente por medio de las funciones de ingreso adicional bruto y de costo adicional estimadas con base en los datos observados. El procedimiento es el siguiente:

- 1) La función estimada de ingreso adicional bruto es:

$$Y_1 = 1323,81 e^{0,01x} x^{-0,20} \quad \underline{\underline{[26]}}$$

- 2) La función estimada de costo adicional es:

$$Y_2 = 146,39 e^{0,32x} x^{-0,94} \quad \underline{\underline{[27]}}$$

3) El beneficio adicional neto se obtiene por diferencia de las funciones [26] y [27]. Esta diferencia es máxima cuando el ingreso adicional marginal es igual al costo adicional marginal (esto solamente si la segunda derivada del beneficio adicional neto es negativa).

Las funciones marginales son:

$$\text{para Ingreso} \quad \frac{dy_1}{dx} = 1323,81 e^{0,01x} x^{-0,20} \left(0,01 - \frac{0,20}{x}\right) \quad \underline{\underline{[28]}}$$

$$\text{para Costo} \quad \frac{dy_2}{dx} = 146,39 e^{0,32x} x^{-0,94} \left(0,32 - \frac{0,94}{x}\right) \quad \underline{\underline{[29]}}$$

4) Al igualar estas ecuaciones [28] y [29], se puede aproximar el valor de X (ancho del camellón) que maximizaría el beneficio adicional

neto. El ancho del camellón x tal que $0,4 \text{ m} < x < 0,5 \text{ m}$ maximizaría el beneficio adicional neto en teoría y basado en las curvas empíricas obtenidas. La determinación gráfica del mismo se hizo en la Fig. 10. Los cálculos elaborados de los pasos anteriores se muestran en el Cuadro A36.

Sin embargo, la maximización del beneficio adicional neto no implica necesariamente la maximización de la razón beneficio adicional neto/costo adicional tal como se puede apreciar en el Cuadro A35 y se ilustra en el paso siguiente:

$$\frac{\text{Beneficio neto}}{\text{Costo}} = \frac{\text{Ingreso} - \text{Costo}}{\text{Costo}} = \frac{\text{Ingreso}}{\text{Costo}} - 1 \quad \underline{\underline{[30]}}$$

$\frac{\text{Beneficio neto}}{\text{Costo}}$ es máximo cuando $(\frac{\text{Ingreso}}{\text{Costo}} - 1)$ es máximo
es decir, cuando:

$$\frac{\text{Ingreso marginal (Costo)} - \text{Costo marginal (Ingreso)}}{(\text{Costo})^2} = 0 \quad \underline{\underline{[31]}}$$

o sea:

$$\frac{\text{Ingreso marginal}}{\text{Ingreso}} = \frac{\text{Costo marginal}}{\text{Costo}} \quad \underline{\underline{[32]}}$$

Esto solamente si la segunda derivada de la razón $\frac{\text{Ingreso}}{\text{Costo}}$ es negativa.

Asumiendo que esto último se cumple, la ecuación $\underline{\underline{[32]}}$ permite reescribir nuestro caso particular:

$$\frac{1323,81 e^{0,01x} x^{-0,20} (0,01 - \frac{0,20}{x})}{1323,81 e^{0,01x} x^{-0,20}} = \frac{146,39 e^{0,32x} x^{-0,94} (0,32 - \frac{0,94}{x})}{146,39 e^{0,32x} x^{-0,94}} \quad \underline{\underline{[33]}}$$

$$\text{de donde: } 0,01 - \frac{0,20}{x} = 0,32 - \frac{0,94}{x} \quad \underline{\underline{[34]}}$$

$$x = 2,41$$

lo que concuerda con los cálculos del Cuadro A35. Entonces cuando la función de ingreso es de la forma $Y = Ae^{Bx} x^{-D}$ y la función de costo de la forma $Y = a e^{bx} x^{-d}$, el valor de x que maximiza la razón beneficio/costo es $x = \frac{D - d}{B - b}$.

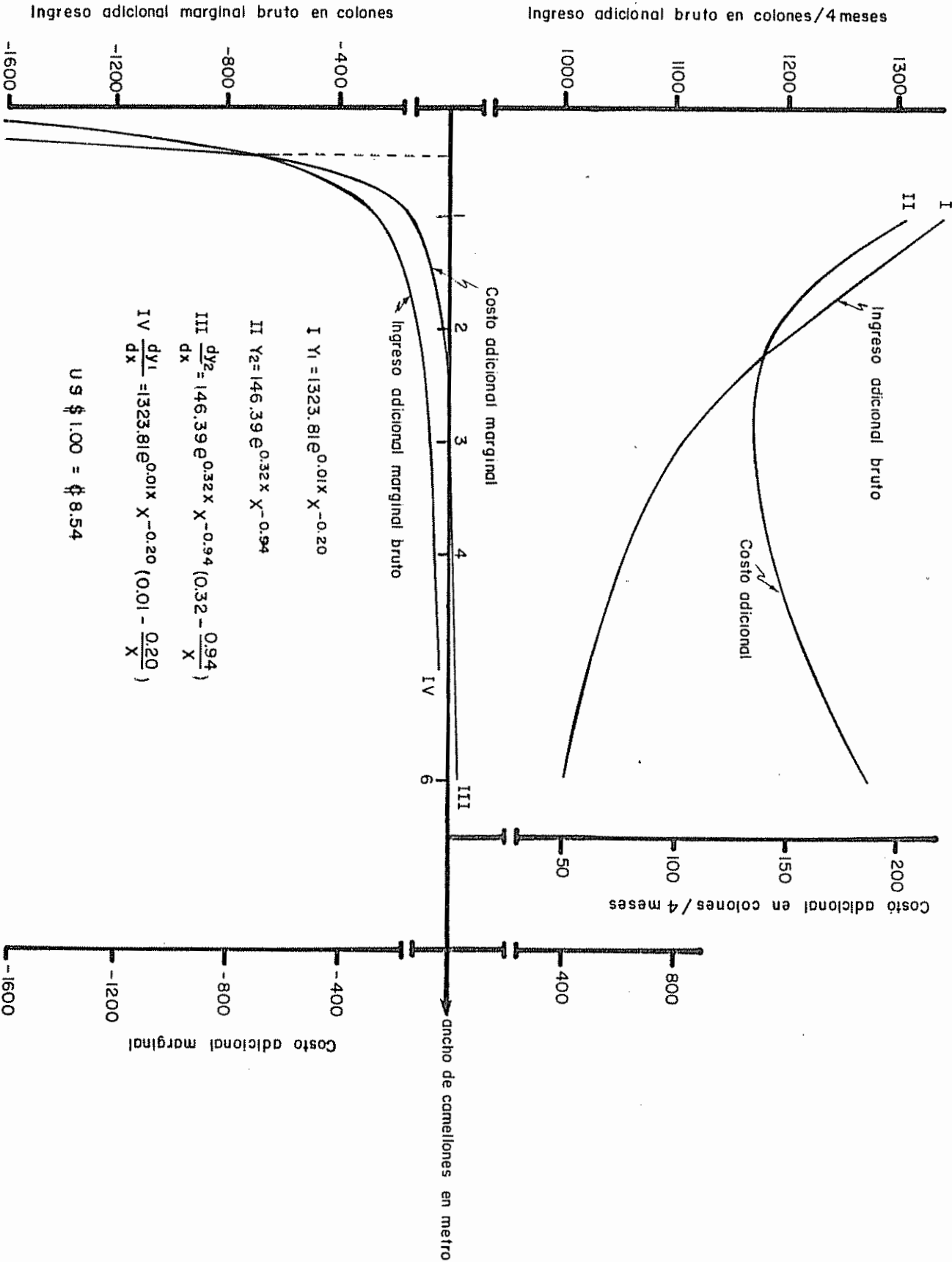


Fig. 10 Determinación gráfica del ancho de camellón que maximiza el beneficio adicional por medio del punto de contacto de las funciones de ingreso adicional marginal bruto

5. DISCUSION

5.1 Condiciones agronómicas

El buen crecimiento de las plantas se manifestó en el desarrollo de una vegetación frondosa. El resultado se tradujo en un manejo eficiente de los cultivos para los cuales se hicieron una sola deshierba y una sola aplicación de insecticida. Cabe mencionar la acción favorable de unos factores físicos y químicos que, generalmente en condiciones de campo, no se encuentran todos en forma óptima tales como: succión baja del agua del suelo, espacio aéreo y nivel freático no limitantes, resistencia óptima a la penetración de las raíces y fertilización adecuada.

La defoliación completa y uniforme producida por la mustia del frijol a los 60 días de crecimiento, redujo evidentemente el rendimiento. Esta reducción podría estimarse a 20 por ciento del rendimiento promedio según trabajo de defoliación artificial (24). Las condiciones de pluviosidad registradas durante la cosecha también redujeron el rendimiento aunque sea en una forma poco espectacular. Al respecto, es interesante notar que las reducciones pudieron haber sido mayores en ausencia de instalaciones adecuadas para el secamiento de los granos cosechados.

5.2 Niveles de rendimiento

Los niveles de rendimiento obtenidos en la asociación de maíz y frijol, fueron relativamente altos. Basta recordar que el rendimiento promedio del frijol en monocultivo para varios países latinoamericanos

es de 600 kg/ha (51) y en el caso del maíz en monocultivo, este rendimiento no supera 1.500 kg/ha (34).

Sin embargo, otros investigadores (32) han conseguido rendimientos similares y aún mayores en asociación de maíz y frijol (1.267 kg/ha de frijol y 4.518 kg/ha de maíz). Eso pone de relieve el hecho siguiente: si por competencia, la asociación de cultivos produce generalmente un descenso en los rendimientos individuales de los mismos cultivos en monocultivo (24, 32, 62), el grado de reducción del rendimiento y el rango donde se manifestó esta reducción pueden variar con las condiciones de cultivo.

5.3 Grado de encharcamiento

Los valores acumulados del balance hídrico atmosférico fueron muy altos durante el experimento (808,9 mm). Se podría estimar la evapotranspiración potencial (ETP) del frijol y del maíz a un valor máximo de 434,0 mm puesto que el factor f (razón entre la ETP y la evaporación de tanque de agua libre) es de 1,0 a 1,2 para frijol de desarrollo completo (28) y de 0,98 a 1,39 para maíz de desarrollo completo (28,65). Este planteamiento concuerda con la succión baja que experimentaron los cultivos durante su permanencia en el campo y hace resaltar que el complejo suelo-planta dispuso de más agua que la cantidad máxima susceptible de evapotranspirarse.

A pesar del exceso de agua registrado, nunca se pudo detectar encharcamiento en ausencia o poco después de las caídas de lluvia. Este hecho se debe mayormente a la alta velocidad de infiltración del agua en el suelo y al diseño de campo utilizado. Los testigos que se

encontraban al azar dentro de cada uno de los bloques, beneficiaron del sistema de canales superficiales que rodearon todos los tratamientos y que aseguraron el desague superficial del conjunto de las parcelas experimentales.

Sin embargo, se ha observado encharcamiento en los testigos durante la lluvia. En las condiciones del experimento, las lluvias duran mucho (a veces más de un día). Ahora bien, una inundación de una hora basta para reducir el rendimiento del frijol (45) que, según se conoce, es muy sensible al anegamiento (39, 69). La reducción del rendimiento de frijol puede atribuirse a un encharcamiento intermitente, aunque de poca duración, puesto que las enfermedades observadas afectaron en grado igual a todos los tratamientos.

5.4 Respuesta de los cultivos

Debido a la gran sensibilidad del frijol al anegamiento (39, 45, 69, 70), era suficiente el grado de encharcamiento observado para reducir de 40 por ciento los rendimientos en los testigos en comparación con el tratamiento de mayor rendimiento. Pero, en el caso del maíz, el mismo grado de encharcamiento no produjo diferencias significativas entre los testigos y los diferentes tratamientos. A pesar de ser sensible al anegamiento (73), el maíz tiene características estructurales y fisiológicas que le garanticen cierto margen de tolerancia (63, 89).

5.5 Efecto de orilla

Los análisis químicos efectuados en base a muestras tomadas después de la cosecha, revelaron lo siguiente con respecto al centro y

a la orilla de los camellones: hubo mayor cantidad de nitrógeno en la orilla que en el centro de los camellones y mayor cantidad de potasio y de fósforo en el centro que en la orilla de estos. Puesto que el nitrógeno es bastante móvil en el suelo (122), se ha pensado en el movimiento del mismo hacia la orilla de los camellones. Luego, las plantas de mayor desarrollo, por tener en la orilla mayor cantidad de nitrógeno disponible, consumieron mayor cantidad de fósforo y de potasio (41, 122, 129), por lo cual bajó la concentración de estos elementos en la orilla de los camellones.

Eso concuerda con los resultados de un muestreo que se hizo a los 30 días después de la siembra. Los resultados se ven en el Cuadro A31. Desgraciadamente, no se pudo analizar estadísticamente estos resultados ya que se muestrearon al azar solamente cuatro tratamientos donde se observó el efecto de orilla. Es interesante notar que en este cuadro, la diferencia entre centro y orilla era bastante grande en el caso del nitrógeno mientras que no era definida para el potasio y el fósforo. Por otro lado, ha bajado mucho el contenido de nitrógeno después de la cosecha mientras que el contenido de potasio y de fósforo no ha sufrido un descenso tan drástico.

Varios investigadores (21, 31, 66, 111, 119) han estudiado el movimiento de nitrógeno en los suelos, sea en forma de nitrógeno amoniacal o de nitrato, sea con gradiente vertical o con gradiente vertical y lateral. La cantidad de nitrógeno lixiviada es una función de la cantidad de nitrógeno disponible, de la forma en que éste está presente, de las características bioquímicas y físicas del suelo, de la

cantidad de lluvia y del tiempo.

5.6 Competencia entre maíz y frijol

La correlación negativa que existe entre los rendimientos de maíz y frijol pone de manifiesto la competencia a nivel de las dos especies, en donde el rendimiento del maíz fue alto, el rendimiento del frijol tendió a ser bajo e inversamente. Desde luego, es difícil decidir cuál de los dos cultivos actúa como causa o como efecto. Hart (54), comparando diferentes sistemas de policultivo con maíz, frijol y yuca, también encontró que cuando el rendimiento de una especie crece, el rendimiento de la otra decrece, especialmente en maíz y frijol. Buestan (20) también encontró una correlación negativa entre los rendimientos de maíz y frijol asociados. En la asociación maíz-frijol, el maíz, según Willey y Osiru (132), manifiesta mayor aptitud competitiva, es más eficiente fotosintéticamente (2) y es muy exigente en cuanto a nitrógeno (13). Según Kurtz y colaboradores (72), la competencia entre maíz y otras especies en policultivo se reduce esencialmente a una competencia para nitrógeno y agua.

5.7 Requisitos de mano de obra para hacer los camellones

En forma general, las horas de trabajo gastadas en hacer los camellones son funciones del rendimiento de los trabajadores, de la consistencia del suelo, del grado de uniformidad del terreno y de la forma geométrica de los canales que rodean los camellones. Por eso, es difícil extrapolar a priori el rango de valores observados para otras condiciones.

Sin embargo, en lo que se refiere a la relación de las horas de trabajo con los distintos anchos de camellones, se puede destacar lo siguiente:

El tiempo de trabajo tiende a bajarse de los camellones de 1 m hasta los camellones de 3 m y se vuelve a subir a partir de los camellones de 4 m de ancho. En el primer caso, el número de canales por la misma unidad de superficie (90 m^2) es de 7 para camellones de 1 m, de 4 para camellones de 2 m y de 3 para camellones de 3 m. Evidentemente, eso influye, en forma proporcional, en el tiempo necesario para preparar los camellones.

En el segundo caso, no hay sino dos canales por la misma unidad de superficie en los camellones mayores de 4, 5 y 6 m. Pero, ya interviene otro factor. Debido al ancho más grande de estos camellones, ya no basta los dos canales como fuente donde se saca tierra para terraplenar el camellón. Se hace necesario sacar tierra de la orilla de los camellones para amontonar en el centro de los mismos y profundizar los canales que quedan como superficiales debido al movimiento de la tierra a partir de la orilla. Este trabajo se vuelve más complejo conforme se va aumentando el ancho del camellón. Pues, el tiempo de trabajo tiende a subir en los camellones mayores.

Por consiguiente, los camellones de 2 y 3 m de ancho salieron con el menor costo. Por otro lado, los camellones de 2 y 3 m tuvieron el mayor rendimiento de frijol y el menor rendimiento de maíz. Ya que el precio del frijol es más del triple del precio del maíz por unidad de peso, resulta claro que los camellones de 2 y 3 m de ancho son los

que maximizan el beneficio.

5.8 Costos variables del experimento

En los costos variables registrados durante el experimento, la mano de obra representa 85 por ciento de los costos totales. Eso concuerda favorablemente con el objetivo de utilizar plenamente la mano de obra disponible en las fincas pequeñas, que sería el recurso más abundante de las mismas. También conviene destacar que los gastos correspondientes a la utilización de esa mano de obra no son directamente proyectables en las condiciones reales de fincas pequeñas puesto que la fuerza de trabajo se suministra básicamente por el pequeño agricultor y sus familiares sin desembolso de dinero. Por eso, es de esperarse en esas condiciones un valor menor de los costos variables que lo registrado durante el experimento.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El uso de camellones aumentó el rendimiento de frijol hasta 40 por ciento en la asociación de maíz y frijol, pero no aumentó el rendimiento del maíz.
2. Los camellones de 2 y 3 m de ancho maximizan la razón beneficio adicional entre costo adicional en la proporción de 7 a 1.
3. Se ha observado en los camellones un movimiento de nitrógeno hacia la orilla de los mismos, por lo cual hubo mejor respuesta de las plantas de maíz en la orilla.
4. No hubo diferencias significativas entre los camellones en cuanto a rata de difusión de oxígeno y distribución de la succión de agua del suelo en el tiempo.
5. Se encontró una alta correlación negativa entre los rendimientos de maíz y frijol, según los distintos tratamientos. Es decir, donde el rendimiento de frijol es alto, el rendimiento de maíz es bajo e inversamente.

En base a estos resultados, se recomienda lo siguiente:

- En otro experimento de la misma naturaleza, tratar de aislar los testigos de un modo tal que no haga ningún control del agua de escurrimiento para simular mejor las condiciones reales.
- De comparar un sistema de monocultivo con un sistema de cultivos asociados para ver si la asociación influye en la respuesta de los cultivos individuales al encharcamiento.

- En condiciones de suelos encharcados, incitar al pequeño agricultor en hacer un sistema de camellones; lo cual podría llevarse a cabo por fracciones de superficie año tras año. De esa manera, el agricultor podría darse cuenta de las ventajas y de las desventajas del nuevo sistema en relación con el suelo encharcado.

7. RESUMEN

El objetivo del experimento consistió en analizar el rendimiento de la asociación de maíz (*Zea mays* var. Tuxpeño 1) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. Turrialba 4) cultivados en diferentes tamaños de camellones hechos a mano y determinar la rentabilidad del sistema de camellones según el ancho respectivo de los mismos.

El estudio se llevó a cabo en la estación experimental del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica. Se usaron a propósito parcelas donde siempre fracasaron los cultivos por estancamiento del exceso de agua gravitacional. El suelo utilizado pertenece a la serie Instituto arcilloso y se clasifica como Inceptisol, typic distropept.

Se hicieron a mano todas las labores culturales y se prepararon los camellones sin ningún instrumento topográfico. Se emplearon densidades de 40.000 plantas/ha para el maíz y de 100.000 plantas/ha en el caso del frijol. El diseño experimental fue de bloques completos randomizados con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos tuvieron respectivamente como ancho de camellones, distancia de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 metros. El testigo no tuvo camellones. También se midieron algunas características físicas y químicas del suelo, así como la tasa de difusión de oxígeno que se determinó en tres etapas del ciclo de crecimiento.

Los resultados demostraron que el uso de camellones aumentó el

rendimiento de frijol hasta 40 por ciento sobre los testigos sin camellones. No hubo diferencias significativas entre los diferentes anchos de camellones y los testigos para el maíz. Los camellones de 2 y 3 m de ancho maximizaron la razón beneficio adicional entre costo adicional en la proporción de 7 a 1. Se encontró una alta correlación negativa ($r = -0,93$) entre los rendimientos de maíz y frijol y se observó un movimiento de nitrógeno desde el centro hacia la orilla de los camellones.

7a. SUMMARY

The present experiment was planned to evaluate the yield of corn (*Zea mays* var. Tuxpeño 1) and bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. Turrialba 4) varieties growing in association on manually built cambered beds. An economical study of the costs and returns of the beds of different widths was done.

The experiment was conducted in the CATIE experiment station, at Turrialba, Costa Rica. The plots were established in places where crops always suffered from flooding. The soil of the plots is classified as Inceptisol typic dystropept and belongs to the Instituto clay series.

All cultural practices were manual and beds were constructed without topographical instruments. Plant population was 40,000 of corn/ha and 100,000 of beans/ha. A random block experimental design was used with seven treatments and four replicates. The treatments were bed widths of 1, 2, 3, 4, 5 and 6 meters. The control treatment was planted without a bed. Some physical and chemical soil characteristics were measured and the oxygen diffusion rate was determined during three stages of growth.

The results showed that the cambered bed increased bean yields up to 40 per cent compared to the control. No significant differences were observed between treatments and control for corn. The 2 and 3 meter beds produced the maximum additional returns with a benefit cost ratio of 7:1. A high negative correlation ($r = -0.93$) between bean and corn yield was observed. A lateral movement of nitrogen towards the edges of the beds was also noticed.

7b. RESUME

L'expérience eût pour objet l'analyse des rendements de maïs (*Zea mays* var. Tuxpeño 1) et du haricot (*Phaseolus vulgaris* L. var. Turrialba 4) cultivés en association sur des dos-d'âne de distance latérale différente et de la rentabilité du système étudié selon la largeur respective des dos-d'âne.

Les recherches se réalisèrent dans la station expérimentale des Cultures et Sols Tropicaux du Centre d'Agronomie Tropicale de Recherche et d'Enseignement à Turrialba, Costa Rica. On installa à dessein l'expérience sur des parcelles où les cultures ont toujours souffert de la stagnation des eaux de ruissellement. Le sol utilisé appartient à la série Institut argileux et se classifie comme Inceptisol typic distropept.

Toutes les pratiques culturales ont été manuelles et la préparation des dos-d'âne se fit sans aucun instrument topographique. Les densités à l'hectare furent de 40.000 plants pour le maïs et de 100.000 plants pour les haricots. Les traitements employés furent précisément les distances latérales respectives des dos-d'âne de 1, 2, 3, 4, 5 et 6 mètres. Les témoins n'ont pas eu de dos-d'âne. Tous les traitements furent répartis dans un croquis de champ constitué de blocs complets randomisés avec 4 répétitions. On eût à déterminer également certaines caractéristiques physiques et chimiques du sol tout comme le rythme de diffusion de l'oxygène dans le sol pendant trois étapes du cycle de croissance.

Il appert des résultats obtenus que l'utilisation des dos-d'âne augmente de 40% le rendement des haricots sur les témoins. Il n'y a pas eu de différence significative entre les différents dos-d'âne et les témoins dans le cas du maiz. Les dos-d'âne de 2 et de 3 mètres ont donné le rapport le plus élevé entre le bénéfice additionnel et le cout additionnel dans la proportion de 7 a 1. On a rencontré une haute corrélation négative ($r = -0.93$) entre les rendements du maïs et du haricot et on a observé un mouvement de l'azote depuis le centre vers les bords des dos-d'âne.

8. LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE, V. A. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 138 p.
2. ALVIN, R. y ALVIII, P. T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento de energia luminosa pelo feijao (*Phaseolus vulgaris* L.) en culturas exclusivas e consorciadas. Turrialba 19(3):389-393. 1969.
3. AMEZQUITA, E. C. Estudios hidrológicos y edafológicos para conservación de aguas y suelos en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 212 p.
4. AYRES, G. C. y SCOATES, D. A. E. Land drainage and reclamation. 2ed. McGraw Hill, New York. 1939. 496 p.
5. BAKKER, J. W. y HIDDING, A. P. The influence of soil structure and air content on gas diffusion in soils. Netherlands Journal of Agricultural Science 18:37-40. 1970.
6. BARNES, C. P. Lo que está haciendo la investigación sobre los problemas del agua en la agricultura. In Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Anuario de Agricultura. Versión española. Departamento de Agricultura. Washington, D.C. 1955. pp. 747-758.
7. BAVER, L. D. Soils physics. 3rd. ed. John Wiley. New York. 1966. 489 p.
8. _____, y FARNSWORTH, R. B. Soil structure effects in the growth of sugar beets. Soil Science Society of America. Proceedings 5:45-48. 1940.
9. _____, GARDNER, W. H. y GARDNER, V. R. Física de suelos. 4 ed. Traducido por Jorge Manuel Rodríguez y Rodríguez. UTEH, México. 1973. 529 p.
10. BAZAN, R. et al. Desarrollo de sistemas de producción agrícola, una necesidad para el trópico. Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, CATIE, Turrialba. 1974. (mimeog.).
11. BEAUCHAMP, K. Surface drainage of tight soils in the midwest. Agr. Eng. 33:208-212. 1952.

12. BEER, C. E. y SHRADER, W. D. Response of corn yields to bedding soils. *Agr. Eng.* 42(11):618-621. 1961.
13. BERGER, J. Maize production and the manuring of maize. Centre d'étude de l'azote. Geneva. 1962. 315 p.
14. BONNET, A. y LUGO-LOPEZ, M. A. Soil studies in the projected Coamo irrigation area. Univ. Puerto Rico, Agr. Exp. Sta. Bul. 8. 1950. pp. 1-59.
15. BOURNE, W. C. et al. Preliminary survey of conservation possibilities in El Salvador. Servicio Cooperativo Interamericano de Salud Pública, El Salvador. 1946. 167 p.
16. BOYNTON, D. y COMPTON, D. C. Normal seasons changes of oxygen and carbon dioxide percentages in gas from the larger pores of three orchard soils. *Soil Science* 57:107-117. 1944.
17. BREMMER, J. M. Total nitrogen. In Black, C. A. et al. eds. *Methods of soil analysis.* Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy. 1965. pp. 1171-1175.
18. BRESSANI, R. Maíz, arroz y frijol, su valor nutritivo y formas de mejorarlo. In Programa Cooperativo Centro Americano para Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA). Reunión anual, 11a, Panamá. 1965. Informe. Guatemala, s.f. pp. 1-9.
19. BUCKINGHAM, E. Contribution to our knowledge of the aeration of soils. U.S. Department of Agriculture. Division of Soils. Bulletin no. 15. 1904. 51 p.
20. BUESTAN, H. Programa de Leguminosas de grano. Informe anual. 1973. Estación Experimental de Boliche. Instituto Internacional de Investigaciones Agropecuarias (IINIAP). Guayaquil, Ecuador. 1973.
21. CAMPBELL, C. A. et al. Effect of rainfall and subsequent drying on nitrogen and phosphorus changes in a dry land fallow loam. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 37(6):909-915. 1973.
22. CENTRO DE DRENAJE Y RECUPERACION DE TIERRAS. Area piloto de drenaje. Diseño, ejecución, costos y primeros resultados. Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú. 1972. 69 p.

23. CENTRO DE DRENAJE Y RECUPERACION DE TIERRAS. Estudio de las características hidrodinámicas de los suelos. Valles bajo y medio Piura. Tomo I. CENDRET. Lima, Perú. 1968. 49 p.
24. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Annual report 1974. CIAT, Cali, Colombia. 1975. 260 p.
25. CONWAY, V. M. Aeration and plant growth in wet soils. *Botanical Review* 6:149-163. 1940.
26. DASBERG, S. y BAKKER, J. W. Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for bean growth. *Agronomy Journal* 62(6):689-692. 1970.
27. DIAZ-ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes en el suelo. IICA, Turrialba, Costa Rica. 1967. 3 p.
28. DUPRIEZ, G. L. L'évaporation et les besoins en eau des différentes cultures dans la région de Mvuazi (Bas Congo). Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo. Série Scientifique no. 106. 1964. 106 p.
29. EDWINSTER, T. W. y REEVE, R. C. Drainage problems and methods. In *United States Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture Soil*. USDA. Washington, D. C. 1957. pp. 378-385.
30. _____, y VAN SCHIFGAARDE, J. Problemas técnicos y principios de desagüe. In *Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Anuario de Agricultura. Agua. Versión española. Departamento de Agricultura, Washington, D. C. 1955. pp. 533-541.*
31. ENDELMAN, F. J. et al. Nitrate and chloride movement in the plain field Toamy sand under intensive irrigation. In *Commonwealth Bureau of Soil. Soils and fertilizers*. 38(5):133. 1975.
32. FLOR, C. A. y FRANCIS, C. A. Propuesta de estudios de algunos componentes de una metodología para investigar los cultivos asociados en el trópico latinoamericano. In *XXI Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA)*. 1975. PCCMCA. San Salvador, El Salvador. 1975. pp. 45-62.

33. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Reconocimiento edafológico de los llanos orientales. Colombia. Informe general. Tomo I. FAO, Roma. 1964. 96 p.
34. _____. Annuaire de la production. FAO, Rome. 1972.
496 p.
35. _____. Organización de distritos de riego en la cuenca del río Itiquis, Costa Rica. Informe técnico no. 2. AGO:DP/COS/71/509. FAO, Roma. 1974. 125 p.
36. FORSYTHE, W. M. Física de suelos. Manual de laboratorio. IICA, San José, Costa Rica. 1975. 212 p.
37. _____. Relaciones suelo-agua en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica. In Bornemisza, E. y Alvarado, A. eds. Manejo de Suelos en la América Tropical. North Carolina State University. 1975. pp. 158-169.
38. _____, AGUAYO, J. y GUERRERO, G. Uso de medidas físicas de suelos arenosos para evaluar en ellos el manejo de complejo agua-aire-plantas. Fitotecnia Latinoamericana 4: 81-94. 1967.
39. _____ y PINCHINAT, A. M. Tolerancia de la variedad de frijol "27-R" a la inundación. Turrialba 21:228-231. 1971.
40. FOUGEROUZE, J. L'effet brise-vent en climat tropical d'alizés. L'Agronomie Tropicale 23(11):1137-1158. 1968.
41. FRIED, M. The effect of cultural practices on efficiency of fertilizer use determined by direct measure in field experiments using isotopically labelled fertilizers. In Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia. Semaine d'étude sur le thème: l'emploi des fertilizants et leur effet sur l'accroissement des récoltes notamment par rapport à la qualité et à l'économie. 2e partie. 10-16 Avril 1972. Pontificio academia scientiarum. Vatican. 1973. pp. 963-977.
42. FULTON, J. M. y ERICKSON, A. E. Relation between soil aeration and ethyl alcohol accumulation in xylem exudates of tomatoes. Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 28:610-614. 1964.
43. GARAY, A. F. Aeración del suelo en un campo de café. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1963. 95 p.

44. GAVANDE, S. A. Física de suelos. Limusa-Wiley. México. 1972. 351 p.
45. GOMEZ, M. E. Efecto de combinaciones de épocas, frecuencias y duraciones de inundación sobre el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 120 p.
46. GOOR, A. W. VAN DE. Plant growth in relation to drainage. In International Institute for Land Reclamation and Improvement Drainage principles and applications. ILRI. Wageningen. Publication 16(1):91-122. 1974.
47. GRABLE, A. R. y DANIELSON, R. E. Influence of CO₂ on growth of corn and soybean seedlings. Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 29:233-238. 1965.
48. _____ y SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 32:189-186. 1968.
49. GREENWOOD, D. J. Root growth and oxygen distribution in soil. In International Society of Soil Science. 9th International Congress of Soil Science. Transactions. Vol. 1. Australia. 1968. pp. 823-832.
50. GRINGRISH, J. R. y RUSSEL, M. B. Effect of soil moisture tension and osmotic stress on root growth. Soil Science 84(3):185-194. 1957.
51. GUTIERREZ, U., INFANTE, H. y PINCHIHAT, A. Situación del cultivo de frijol en América Latina. Cali, Colombia, CIAT. Boletín Informe. 1975. (En prensa).
52. HARDY, F. Suelos tropicales. Herrero Hermanos. México. 1970. 334 p.
53. HART, R. A. The drainage of irrigated land. USDA. Bul. 190. 1915. 34 p.
54. HART, R. D. A bean, corn and manioc polyculture cropping system. I. The effect of interspecific competition on crop yield. Turrialba 25(3):294-301. 1975.
55. HEYMANS MEARDI, L. D. La fórmula racional de escorrentia. Determinación de la intensidad crítica de lluvia en la estación meteorológica del aeropuerto de Ilopango. Ministerio de Agricultura, El Salvador, San Salvador. 19 p. s.f.

56. HOLDRIDGE, L. R. Mapa ecológico de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1959. Escala 1:1.000.000.
57. _____. Life zone ecology. Revised ed. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. 1967. 206 p.
58. HUDSON, H. Soil conservation. Cornell University. Ithaca, New York. 1971. 320 p.
59. HUMBERT, R. P. The growing of sugar cane. Elsevier, Amsterdam. 1968. 779 p.
60. HUNTER, A. H. Soil analytical procedure using the modified NaHCO_3 extracting solution. International soil fertility evaluation improvement program. Raleigh. s.f. 6 p.
61. INSTITUTO COLOMBIANO DE REFORMA AGRARIA. Special physical and chemical studies. South sector. Atlántico Project N° 3. Incora, Bogotá. 1965. 349 p.
62. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Annual report for 1973. IRRI. Los Baños, Filipinas. 1974. 266 p.
63. JENSEN, C. R., STOLZY, L. H. y LETEY, J. Tracer studies of oxygen diffusion through roots of barley, corn and rice. Soil Science 103:23-29. 1967.
64. _____, LETEY, J. y STOLZY, L. H. Labelled oxygen: transport through growing corn roots. Science 144:550-552. 1964.
65. JENSEN, M. C., MIDDLETON, J. E. y PRUITT, V. O. Scheduling irrigation from pan evaporation. Washington Agr. Exp. Sta. Bul. 459. 1961. 28 p.
66. KLAUSNER, S. D., ZWERMAN, P. J. y ELLIS, D. F. Surface run off losses of soluble nitrogen and phosphorus under two systems of soil management. In Commonwealth Bureau of Soil. Soils and Fertilizers 37(10):286. 1974.
67. KOPECKY, J. Investigations of the relations of soil water. Proc. 1st international Congress. Soil Science 1:495-503. 1927.
68. KRAMER, P. J. Relaciones hídricas de suelo y plantas. Versión española por Leonor Tejada. Edutex, México. 1974. 538 p.

69. KRAMER, P. J. Causes of injury to plant resulting from flooding of the soil. *Plant Physiology* 26:722-736. 1951.
70. _____. y JACKSON, W. T. Causes of injury to flooded tobacco plants. *Plant Physiology* 29:241-245. 1954.
71. KRIZ, G. J. Surface drainage. The key to good water management. *Crops and Soils* 24(6):8. 1972.
72. KURTZ, T., MELSTED, S. W. y BRAY, R. H. The importance of nitrogen and water in reducing competition between intercrops and corn. *Agronomy Journal* 44:13-17. 1952.
73. LAL, R. y TAYLOR, G. S. Drainage and nutrient effects in a field lysimeter study. I. Corn yield and soil conditions. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 33:937-941. 1969.
74. _____. y TAYLOR, G. S. Drainage and nutrient effects in a field lysimeter study. II. Mineral uptake by corn. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 34:245-248. 1970.
75. LEGARDA, L. Influencia de la succión máxima del agua y del espacio aéreo del suelo sobre la producción de la variedad '27-R' de frijol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 120 p.
76. LEMON, E. R. y ERICKSON, A. E. The measurement of oxygen diffusion in the soil with the platinum microelectrode. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 16:160-163. 1952.
77. _____. y ERICKSON, A. E. Principle of platinum microelectrode as a method characterizing soil aeration. *Soil Science* 79:383-392. 1955.
78. LETEY, J. y STOLZY, L. H. Measurement of oxygen diffusion rate with the platinum microelectrode. I. Theory and equipment. *Hilgardia* 35(20):545-554. 1964.
79. _____. , STOLZY, L. H. y LUNT, R. Effect of temperature on oxygen diffusion rates and subsequent shoots growth and mineral content of two plant species. *Soil Science* 92:314-321. 1961.
80. LIVESLEY, M. C. *Field drainage*. Spon. London, 1960. 187 p.
81. LUGO-LOPEZ, M. A. y MARTINEZ, M. B. Drainage of sugar cane field in East Central Puerto Rico. *Sugar Journal* 15(5): 14-20. 1952.

82. LUTHIN, J. N. Drainage engineering. John Wiley, New York. 1966. 250 p.
83. LUTZ, J. F. Propiedades físicas del suelo. In Sánchez, P. A. ed. Un resumen de las investigaciones edafológicas en la América Latina tropical. North Carolina State University. Technical bulletin no. 219. 1973. pp. 43-50.
84. LUXMOORE, R. J., FISHER, R. A. y STOLZY, L. H. Flooding and soil temperature effects on wheat during grain filling. *Agronomy Journal* 65:361-364. 1973.
85. LYON, T. L., BUCKMAN, H. O. y BRADY, M. C. The nature and properties of soils. 5th. ed. McMillan, New York. 1952. 591 p.
86. MAGOON, E. H. Drenaje y salud en la zona del Caribe. Traducido del inglés por Juan A. Hernández. Ministerio de Salubridad, La Habana, Cuba. 1945. 556 p.
87. MARSHALL, T. L. The diffusion of gasses through porous media. *Journal of Soil Science* 10:79-82. 1959.
88. MAZARIEGOS, A. Estudio de las constantes físicas de los suelos del Valle de Asunción, Mita, Jutiapa. Tesis. Guatemala, Universidad de San Carlos. 1966. 76 p.
89. McPHERSON, D. C. Cortical air spaces in the root of *Zea mays*. *New Phytologist* 38:190-202. 1939.
90. MELA MELA, P. El suelo y los cultivos de secano. 2 ed. Agrociencia. Zaragoza. 1966. 704 p.
91. MILLINGTON, R. J. Gas diffusion in porous media. *Science* 130:100-102. 1959.
92. MUSGRAVE, G. V. How much of the rain enters the soils? In United States Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture. Water. USDA. Washington, D.C. 1955. pp. 151-159.
93. NICHOLSON, H. H. The principles of field drainage. 2nd. ed. John Wiley, New York. 1932. 353 p.
94. NOWOTNY, A. An investigation of nitrogen uptake in mixed crops not receiving nitrogenous manure. *Journal of Agricultural Science* 27:503-510. 1937.

95. OGROSKY, H. O. y MOCKUS, V. Hydrology of agricultural lands. In Chow, V. T. ed. Handbook of applied hydrology. McGraw Hill, New York. 1964. Section 21.
96. OLSEN, S. Phosphorus. in Black, C. A. et al. eds. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy. 1965. pp. 1035-1049.
97. PACO LOPEZ-SANCHEZ, J. L. de. Drenaje agrícola. Teoría y bases de cálculo. Ministerio de Agricultura. Madrid. 1969. 213 p.
98. PAGNEY, P. Le climat des Antilles. IHEAL. París. 1966. 213 p.
99. PENMAN, H. L. Gas and vapour movements in soil. I. The diffusion in vapours through porous solids. Jour. Agr. Sc. 30:437-462. 1940.
100. PINCHINAT, A. M. El cultivo del frijol en Centroamérica. Extensión en las Américas 11(2):27-32. 1966.
101. PLOWERS, W. L. y TEETER, T. A. H. Land drainage. 2a ed. John Wiley, New York. 1932. 353 p.
102. RAADSMA, S. y SCHULZE, F. E. Surface field drainage systems. In International Institute for Land Reclamation Improvement. Drainage principles and applications. ILRI, Wageningen. Publication 16(4):68-121. 1974.
103. ROBINSON, W. D. Some chemical phases of submerged soil conditions. Soil Science 30:197-217. 1930.
104. ROYER, A. E. Studies of drainage and water relationships at Good Hope, Monte Verde and Estrella Valley, Costa Rica. IICA, Turrialba, Costa Rica. Abaca Research report no. 27. 1953.
105. RUSSEL, E. J. y APPLEYARD, A. The atmosphere of the soil, its composition and the causes of variation. Jour. Agr. Sc. 7:1-48. 1915.
106. RUSSEL, E. W. Soils conditions and plant growth. 9 ed. Longman. 1961. 608 p.
107. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. S. Análisis químico de suelos. Departamento de Energía Nuclear, CTEI, IICA. Turrialba, Costa Rica. 1961. 107 p.

108. SATORIUS, G. B. y BELCHER, B. A. The effect of flooding on flowering and survival of sugar cane. *Sugar* 44: 36-39. 1949.
109. SAVESON, I. L. Drainage of sugar cane field. *Agricultural Engineering* 31:451-454. 1950.
110. _____. Surface drainage of flat lands. Miscellaneous Publication no. 1062. USDA. 1967. 9 p.
111. SCHUMAN, G. E. et al. Nitrogen losses in surface run-off from agricultural watersheds on Missouri Valley loess. In Commonwealth Bureau of Soil. *Soils and fertilizers* 37(2):31. 1974.
112. SCHWAB, G. O. et al. Crop response from tile and surface drainage. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 30:634-637. 1966.
113. SHALHEVET, J., ENOCH, H. y DASBERG, S. Response of sugar beet to soil drainage and aeration. *Israel Journal of Agricultural Research* 19(4):161-178. 1969.
114. STEWART, K. V. y SAVESON, I. L. Los sistemas para desaguar la superficie. In Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. *Anuario de Agricultura. Agua. Versión española.* Departamento de Agricultura, Washington, D. C. 1955. pp. 541-551.
115. STOLWIJK, J. A. y THIMANN, K. V. On the uptake of carbon dioxide and bicarbonate by roots and its influence on growth. *Plant Physiology* 32:513-520. 1957.
116. STOLZY, L. H. y LETEY, J. Characterizing soil oxygen conditions with a platinum microelectrode. *Advance in Agronomy* 16:249-271. 1964.
117. _____. y LETEY, J. Measurement of oxygen diffusion rates with the platinum microelectrode. III. Correlation of plant response to soil oxygen diffusion rates. *Hilgardia* 35:567-576. 1964.
118. SUTTON, J. G. Drainage as an aid to increase food production. *Agr. Eng.* 24:327-329. 1943.
119. TAHIR, M. I. y MIANI, M. A. Movement of nitrogen fertilizers in field soil. In Commonwealth Bureau of Soil. *Soils and fertilizers* 36(5):187. 1973.

120. TAYLOR, B. W. Estudios ecológicos para el aprovechamiento de la tierra en Nicaragua. Ministerio de Agricultura. Nicaragua. 1959. 338 p.
121. TAYLOR, S. A. Oxygen diffusion in porous media as a measure of soil aeration. Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 14:55-61. 1949.
122. TISDALE, S. L. y NELSON, W. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Traducido del inglés por Jorge Balasch y Carmen Piña. Montaner y Simón, Barcelona. 1970. 760 p.
123. UNITED STATES BUREAU OF PLANT INDUSTRY AND AGRICULTURAL ENGINEERING. Soil survey manual. Rev. ed. USDA handbook no. 18. Washington, D. C. 1962. 503 p.
124. UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE. WEATHER BUREAU. Generalized estimates of probable maximum precipitation and rainfall frequency data for Puerto Rico and Virgin Island for areas to 400 square miles, durations to 24 hours and return periods from 1 to 100 years. Technical paper no. 42. 1961. 94 p.
125. VALENCIA, R. Estudio de suelos del proyecto de irrigación de Rivas. FAO. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Managua, Nicaragua. 1961. 125 p.
126. VAN BEERS, W. F. Soils and soils properties. In International Institute for Land Reclamation and Improvement Drainage principles and applications. ILRI. Wageningen. Publication 16(1):33-73. 1974.
127. VAN'T VOUDET, B. D. Respuestas de los cultivos a niveles excesivamente elevados de humedad del suelo. In Luthin, J. M. Drenaje de tierras agrícolas. Versión española de Alonso Blackaller Valdés. Limusa-Wiley, México. 1967. pp. 571-645.
128. VLAMIS, J. y DAVIS, A. R. Effect of oxygen tension on certain physiological responses of rice, barley and tomato. Plant Physiology 19:33-51. 1944.
129. VIRMANI, S. H., DHALIWAL, A. S. y RANDHAVA, M. S. Effect of nitrogen on the uptake and utilization of soil and fertilizer phosphorus. In Commonwealth Bureau of Soil Soils and fertilizers 34(6):689. 1971.

130. WEAVER, J. E. y HIMMEL, W. J. Relation of increased water content and decreased aeration to root development in hygrophytes. *Plant Physiology* 5:69-92. 1930.
131. WIERSMA, D. y MORTLAND, M. Response of sugar beets to peroxide fertilization and its relation to oxygen diffusion. *Soil Science* 75:355-360. 1953.
132. WILLEY, R. W. y OSIRU, D. S. O. Studies on mixtures of maize and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) with particular reference to plant population. *Journal of Agr. Sc.* 79:517-529. 1972.
133. WILLIAMSON, R. E. y SPLINTER, W. E. Effects of light intensity, temperature, and root gaseous environment on growth of *Nicotiana tabacum* L. *Agronomy Journal* 61(2): 285-288. 1969.
134. YODER, R. E. The significance of soil structure in relation to the tilth problem. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 2:21-33. 1937.
135. YUDELHAN, M. El desarrollo agrícola en América Latina. Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos. México. 1967. 193 p.
136. ZONE CONSERVATIONISTS AND ENGINEERING DIVISION. Engineering handbook. 2 ed. Soil conservation service. USDA. 1952. Part II.
137. ZUERMAN, P. J. et al. Drainage practices and problems. *Journal of Soil and Water Conservation* 11(2):67-72. 1956.

9. A P E N D I C E

Cuadro A1. Orden cronológico de las principales labores de cultivo, sucesos registrados y actividades realizadas durante el experimento.

Fecha	Labor, Suceso o Actividad
Nov. - Dic. de 1974	Preparación de camellonas
19/5/75	Aplicación de Aldrín
22-24/5/75	Siembra
22-24/5/75	1ª aplicación de fertilizantes
25/5/75-6/6/75	Puesta de centinela para control de pájaros
26-30/5/75	Germinación de maíz y frijol
4/6/75	Inicio de lectura semanal de tensiómetros y nivel freático
5-7/6/75	Deshierba
9-11/6/75	Raleo
12/6/75	Aplicación de Sevin
18-19/6/75	2ª aplicación de fertilizantes
18-23/6/75	Medidas de infiltración in situ
25/6/76	1 encharcamiento en los testigos, observado bajo la lluvia
25/6/75	Muestreo para análisis físicos
1/7/75	Floración en frijol
2/7/75	Medidas de rata de difusión de oxígeno
28/7/75	Floración en maíz
28/7/75	Medidas de rata de difusión de oxígeno
8/8/75	Fructificación en maíz
8/8/75	Medidas de rata de difusión de oxígeno
8/8/75-5/9/75	Puesta de centinela para control de pájaros
12/8/75	Cosecha del frijol
12/9/75	Doblada del maíz
23/9/75	Cosecha del maíz
1/10/75	Muestreo para análisis químicos
2-14/10/75	Medidas de resistencia a la penetración in situ

Cuadro A2. Análisis de varianza del rendimiento de frijol en kg/ha (kilogramo/hectárea).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque	3	282061,08	94287,03	2,46
Tratamientos	6	822030,89	137005,15	3,58*
Error	18	689434,81	38301,93	
Total	27	1794326,78		

* Significativo a nivel de 95 por ciento de probabilidad.

F.V. = Fuente de variación

S.C. = Suma de cuadrados

G.L. = Grados de libertad

C.M. = Cuadrado medio

Cuadro A3. Prueba de Duncan para comparaciones de medias en los tratamientos según el rendimiento del frijol.

Ancho del camellón en m	Rendimiento en kg/ha Valores observados
2	1187,80
4	1046,10
1	990,90
3	902,50
6	876,10
5	853,40
0	594,10

1187,80 es significativamente diferente de 853,40*

1046,10 " " " de 594,10*

990,90 " " " de 594,10*

902,50 " " " de 594,10*

Cuadro A4. Análisis de varianza del rendimiento de maíz en kg/ha (kilogramo/hectárea).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque	3	39250,13	13083,38	0,04 n.s.
Tratamientos	6	3060962,88	510160,48	1,57 n.s.
Error	18	5835207,13	324178,17	
Total	27	8935420,14		

n.s. = no significativo a nivel de 95 por ciento de probabilidad.

Cuadro A5. Prueba de Duncan para comparaciones de medias en los tratamientos, según el rendimiento del maíz.

Ancho del camellón en m	Rendimiento en kg/ha Valores observados
0	3133,25
3	2958,25
5	2891,75
2	2775,00
6	2766,50
4	2425,00
1	2075,00

3133,25 es significativamente diferente de 1075,00*

Cuadro A6. Promedios y desviaciones estándar de los valores de humedad gravimétrica (Hg), densidad aparente (d.a.), humedad volumétrica (Hv), densidad de sólidos (d.s.), porosidad (E) y espacio aéreo, a capacidad de campo^{1/}.

Profundidad (cm)		Hg %	d.a. g/cm ³	Hv %	d.s. g/cm ³	E %	Ea %
0 - 30	\bar{x}	59,50	1,20	71,50	2,6669	55	17
	s	0,58	0,01	1,00	0,063	1,15	1,91
30 - 60	\bar{x}	58,25	1,17	68,25	2,705	57	11
	s	2,06	0,05	5,06	0,038	2,16	7,18
60 - 90	\bar{x}	57,50	1,18	67,50	2,696	57	11
	s	1,29	0,04	3,87	0,084	2,08	5,77

^{1/} Se sacaron 8 muestras para cada profundidad.

Cuadro A7. Análisis de varianza de la resistencia a la penetración en bares medida en tres sitios (centro - orilla - entre centro y orilla de los camellones)^{1/}.

F. V.	G. L.	S. C.	C. H.	Fo
Bloque (B)	3	12,13	4,04	1,80 n.s.
Tratamiento (T)	6	18,39	3,07	1,36 n.s.
Error a	18	40,41	2,25	
Sitios (S)	2	6,57	3,18	1,41 n.s.
ST	12	23,20	1,93	0,85 n.s.
Error b	42	94,74	2,26	
Total	83	195,24		

^{1/} La orilla de los camellones corresponde a una zona de muestreo que se encuentra a 50 cm del borde de los camellones. Para los camellones de 1 m de ancho, esta distancia es de 25 cm. Entre el centro y la orilla de los camellones, se muestreó a distancia igual del centro y de la orilla de los camellones.

Cuadro A8. Análisis de varianza de la resistencia a la penetración en bares medida a 10 cm de profundidad en tres sitios (centro - orilla - entre centro y orilla de los camellones).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	245,81	81,94	1,62 n.s.
Tratamiento (T)	6	336,37	56,39	1,11 n.s.
Error a	18	912,54	50,70	
Sitios (S)	2	1323,10	661,55	33,89 **
ST	12	831,59	69,30	3,55 **
Error b	42	810,66	19,52	
Total	83	4471,07		

**Significativo a nivel de 99 por ciento de probabilidad.

Cuadro A9. Prueba de Duncan para comparación de medias de los valores de resistencia a la penetración en bares medida a 10 cm de profundidad y en tres sitios (centro - orilla - entre centro y orilla de los camellones).

Ancho del camellón en m	S I T I O S			\bar{x}
	Centro	Mediano	Orilla	
0	13,34	9,65	7,66	10,22
1	3,41	2,56	5,39	3,79
2	1,71	3,98	10,22	5,30
3	2,27	3,69	13,91	6,62
4	2,84	2,84	17,59	7,76
5	1,71	2,27	15,32	6,43
6	2,56	5,96	18,16	8,89
\bar{x}	3,98	4,42	12,61	7,00

3,98 es significativamente diferente de 12,61 *

4,42 " " " de 12,61 *

Cuadro A10. Análisis de varianza de la resistencia a la penetración en bares medida a 20 cm de profundidad en tres sitios (centro - orilla - entre centro y orilla de los camellones).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	197,75	65,92	1,58 n.s.
Tratamiento (T)	6	575,05	95,84	2,30 n.s.
Error a	18	751,18	41,73	
Sitios (S)	2	1754,80	877,40	40,87 **
ST	12	408,37	34,04	1,58 n.s.
Error b	42	901,65	21,47	
Total	83	4588,80		

Cuadro A11. Prueba de Duncan para comparación de medias de los valores de resistencia a la penetración en bares a 20 cm de profundidad y en tres sitios (centro - orilla - entre centro y orilla de los camellones).

Ancho del camellón en m	S I T I O S			\bar{x}
	Centro	Mediano	Orilla	
0	13,34	10,79	15,61	13,25
1	3,12	1,99	7,95	4,35
2	3,41	6,81	11,35	7,19
3	6,25	5,11	17,31	9,56
4	1,99	4,54	16,74	7,76
5	2,56	3,12	15,04	6,91
6	2,84	7,10	20,15	10,03
\bar{x}	4,79	5,64	14,88	8,44

4,35 es significativamente diferente de 13,25 *
 6,91 " " " de 13,25 *
 4,79 " " " de 14,88 *
 5,64 " " " de 14,88 *

Cuadro A12. Promedios y desviaciones estándar de los valores de conductividad hidráulica (en base a ocho muestras para cada profundidad).

Profundidad (cm)	Conductividad hidráulica (m/día)	
	\bar{x}	s
0 - 30	0,80	2,13
30 - 60	1,38	2,79
60 - 90	0,25	0,35

Cuadro A13. Análisis de varianza de la succión de agua del suelo, registrada durante el experimento en la orilla de los camellones (en centibares).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	119,10	29,70	1,36 n.s.
Tratamiento (T)	6	182,68	30,45	1,05 n.s.
Error a	18	523,63	39,09	
Semanas (S)	13	7051,37	542,41	79,30 **
ST	78	935,85	12,00	1,75 n.s.
Error b	273	1868,66	6,84	
Total	391	10681,29		

Cuadro A14. Análisis de varianza de la succión de agua del suelo, registrada durante el experimento en el centro de los camellones (en centibares).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	14,93	4,98	0,31 n.s.
Tratamiento (T)	6	168,43	28,07	1,74 n.s.
Error a	18	290,53	16,14	
Semanas (S)	13	9220,24	709,25	252,40 **
ST	78	554,01	7,10	2,53 **
Error b	273	768,27	2,81	
Total	391	11016,41		

Cuadro A15. Promedios y desviaciones estándar de los valores de succión matricial, medidos en el centro y la orilla de los camellones durante las 15 semanas del experimento (se hicieron 56 mediciones por semana, o sea, 28 mediciones en el centro y 28 mediciones en la orilla).

Semanas	Succión en centibares				
	Centro de camellones	\bar{x} y	Orilla	s Centro	Orilla
1	18,80		16,06	4,82	6,29
2 ^{a/}	--		--	--	--
3	6,07		5,89	2,00	2,67
4	2,31		3,15	2,46	3,86
5	6,62		7,34	3,54	4,13
6	0,90		1,41	1,40	2,73
7	1,39		2,82	2,28	5,97
8	1,11		1,30	2,06	2,37
9	0,62		0,43	1,35	1,14
10	0,98		1,17	1,90	2,21
11	0,29		0,29	0,71	0,90
12	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,46		0,54	1,14	1,29
14	0,50		0,36	1,17	1,10
15	0,29		0,32	0,90	1,06

^{a/} La succión era superior a 80 centibares.

Acuadro A16. Análisis de varianza de rata de difusión de oxígeno, según tres etapas de crecimiento con valores del centro de los camellones (en $q \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \times 10^{-8}$).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	328,81	109,60	1,06 n.s.
Tratamiento (T)	6	722,17	120,36	1,16 n.s.
Error a	18	1869,36	103,85	
Etapas (E)	2	7566,00	3783,00	45,06 **
ET	12	2266,83	188,90	2,25 **
Error b	42	3525,82	83,95	
Total	83	16278,99		

$1/ q \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1} = \text{gramo/centímetro cuadrado/minuto.}$

Cuadro A17. Análisis de varianza de rata de difusión de oxígeno, según tres etapas de crecimiento con promedios de los valores registrados en el centro y la orilla de los camellones (en $q \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \times 10^{-8}$).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	269,94	89,98	1,02 n.s.
Tratamiento (T)	6	293,48	48,91	0,55 n.s.
Error a	18	1590,81	88,38	
Etapas (E)	2	5976,45	2988,23	66,14 **
ET	12	651,38	54,28	1,20 n.s.
Error b	42	1879,49	45,18	
Total	83	10679,55		

Cuadro A18. Promedios y desviaciones estándar de los valores de la profundidad del nivel freático durante las 15 semanas del experimento^{1/}.

Semanas	\bar{x} metros	s
1	1,50 y más	--
2	1,50 " "	--
3	1,50 " "	--
4	1,50 " "	--
5	0,84	0,27
6	0,71	0,31
7	0,81	0,28
8	0,74	0,32
9	0,79	0,32
10	0,78	0,31
11	0,75	0,31
12	0,72	0,30
13	0,78	0,31
14	0,73	0,32
15	0,72	0,29

^{1/} Se sacaron cuatro muestras, o sea, una por bloque.

Cuadro A19. Valores de precipitación y de evaporación de tanque A durante las 15 semanas del experimento.

Semanas	P en mm	P Acum.	E en mm	E Acum.	P-E	P-E Acum.
1	31,5	31,5	29,3	29,3	7,6	7,6
2	10,2	41,7	23,4	47,3	-13,2	- 5,6
3	50,3	92,0	19,7	67,0	30,6	25,0
4	27,3	119,3	19,5	86,5	7,8	32,8
5	109,1	228,4	17,0	103,5	92,1	124,9
6	106,3	334,7	16,0	119,5	90,3	215,2
7	54,2	388,9	25,4	144,9	28,8	244,0
8	102,6	491,5	21,0	165,9	81,6	325,6
9	72,3	563,8	23,3	189,2	49,0	374,6
10	64,2	628,0	16,5	207,5	47,7	422,3
11	110,7	738,7	20,2	225,9	90,5	512,8
12	134,1	872,8	15,5	241,4	118,6	631,4
13	58,1	930,9	19,1	260,5	39,0	670,4
14	30,4	961,3	25,9	286,4	4,5	674,9
15	157,6	1118,9	23,6	310,0	134,0	808,9

P = Precipitación; E = Evaporación; Acum. = Acumulada

Cuadro A20. Probabilidades de tener un balance hídrico mensual igual a 150 mm y más durante el experimento y valores de balance hídrico observado (en mm).

Mes	Probabilidad	Balance hídrico observado
Junio	0,632	32,8
Julio	0,621	341,8
Agosto	0,495	295,8
Setiembre	0,454	312,2 ^{a/}

^{a/} El experimento se terminó a las dos primeras semanas de Setiembre para las cuales el balance hídrico ya era de 138,5 mm.

Cuadro A21. Análisis de varianza de la reacción del suelo (pH) determinada en H₂O a partir de dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	0,042	0,014	0,875 n.s.
Tratamiento (T)	6	0,039	0,006	0,375 n.s.
Error a	18	0,283	0,016	
Sitios (S)	1	0,011	0,011	2,200 n.s.
ST	6	0,014	0,002	0,400 n.s.
Error b	21	0,105	0,005	
Total	55	0,494		

Cuadro A22. Análisis de varianza de la reacción del suelo (pH) determinada en KCl a partir de dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	0,050	0,017	1,214 n.s.
Tratamiento (T)	6	0,051	0,009	0,643 n.s.
Error a	18	0,243	0,014	
Sitios (S)	1	0,009	0,009	3,000 n.s.
ST	6	0,007	0,001	0,333 n.s.
Error b	21	0,069	0,003	
Total	55	0,429		

Cuadro A23. Análisis de varianza de nitrógeno total en porcentaje determinado en dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad^{1/}.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	0,0103	0,0034	2,27 n.s.
Tratamiento (T)	6	0,0146	0,0024	1,60 n.s.
Error a	18	0,0272	0,0015	
Sitios (S)	1	0,0019	0,0019	6,33 **
ST	6	0,0008	0,0001	0,33
Error b	21	0,0055	0,0003	
Total	55	0,0603		

^{1/} El muestreo se hizo después de la cosecha.

Cuadro A24. Comparaciones de medias en el centro y la orilla de los camellones, según el contenido de nitrógeno total en porcentaje, a 0-30 cm de profundidad^{1/}.

Ancho del camellón en m	Camellones		\bar{x}
	Centro	Orilla	
0	0,25	0,26	0,26
1	0,23	0,24	0,24
2	0,27	0,29	0,28
3	0,27	0,27	0,27
4	0,26	0,26	0,26
5	0,23	0,25	0,24
6	0,23	0,25	0,24
	0,25	0,26	0,26

^{1/} El muestreo se hizo después de la cosecha.

Cuadro A25. Análisis de varianza de fósforo disponible (ppm) determinada en dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad^{1/}.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	318,50	106,17	5,70 **
Tratamiento (T)	6	135,86	22,64	1,22 n.s.
Error a	18	335,00	18,61	
Sitios (S)	1	200,64	200,64	9,21 **
ST	6	71,86	11,98	0,55 n.s.
Error b	21	457,50	21,79	
Total	55	1519,36		

^{1/} El muestreo se hizo después de la cosecha.

Cuadro A26. Prueba de Duncan para comparaciones de medias en el centro y la orilla de los camellones, según el contenido de fósforo disponible (en ppm) a 0-30 cm de profundidad^{1/}.

Ancho del camellón en m	Camellones		\bar{x}
	Centro	Orilla	
0	42,00	35,50	38,75
1	41,50	35,00	38,25
2	37,00	37,50	37,25
3	36,50	34,00	35,25
4	39,50	35,00	37,25
5	37,00	33,00	35,00
6	36,00	33,00	34,50
\bar{x}	38,50	34,71	36,61

38,50 es significativamente diferente de 34,71*

^{1/} El muestreo se hizo después de la cosecha.

Cuadro A27. Análisis de varianza de potasio cambiabile (meq/100 g de suelo) determinado en dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad^{1/}.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	0,0615	0,0205	0,48 n.s.
Tratamiento (T)	6	0,1045	0,0174	0,40 n.s.
Error a	18	0,7776	0,0432	
Sitios (S)	1	0,1481	0,1481	26,45 **
ST	6	0,1226	0,0204	3,64 n.s.
Error b	21	0,1182	0,0056	
Total	55	1,3325		

^{1/} El muestreo se hizo después de la cosecha.

Cuadro A28. Comparaciones de medias en el centro y la orilla de los camellones, según el contenido de potasio cambiabile (meq/100 g de suelo) a 0-30 cm de profundidad^{1/}.

Ancho del camellón en m	Camellones		\bar{x}
	Centro	Orilla	
0	0,45	0,44	0,45
1	0,43	0,38	0,41
2	0,45	0,32	0,39
3	0,54	0,36	0,45
4	0,39	0,45	0,42
5	0,49	0,30	0,40
6	0,42	0,20	0,31
\bar{x}	0,45	0,35	0,40

^{1/} El muestreo se hizo después de la cosecha.

Cuadro A29. Análisis de varianza de suma de bases cambiables (K, Ca, Mg, Na) en meq/100 g de suelo, determinada en dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad^{1/}.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	3,7949	1,2650	2,27 n.s.
Tratamientos (T)	6	6,1926	1,0321	1,85 n.s.
Error a	18	10,0232	0,5568	
Sitios (S)	1	0,3225	0,3225	3,72 n.s.
ST	6	1,0286	0,1714	1,98 n.s.
Error b	21	1,8212	0,0867	
Total	55	23,1830		

^{1/} El muestreo se hizo después de la cosecha.

Cuadro A30. Análisis de varianza de la capacidad de intercambio de cationes determinada en dos sitios (centro y orilla de los camellones) a 0-30 cm de profundidad en meq/100 g de suelo^{1/}.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fo
Bloque (B)	3	44,97	14,99	11,44 **
Tratamiento (T)	6	5,61	0,93	0,71 n.s.
Error a	18	23,54	1,31	
Sitios (S)	1	0,83	0,83	1,54 n.s.
ST	6	3,12	0,52	0,96 n.s.
Error b	21	11,29	0,54	
Total	55	89,36		

^{1/} El muestreo se hizo después de la cosecha.

Cuadro A31. Resultados de análisis químicos del centro y de la orilla de cuatro camellones escogidos al azar del grupo de 12 camellones mayores como prueba preliminar del efecto de orilla^{1/}.

Elementos	\bar{x}		s	
	Centro Camellones	Orilla	Centro Camellones	Orilla
N total, %	2,41	3,03	0,34	0,51
P disponible, ppm	95,00	103,00	7,07	18,00
K asimilable, meq/100 g	0,85	0,81	0,16	0,11
Ca cambiable, meq/100 g	2,18	1,62	0,11	0,26
Mg cambiable, meq/100 g	1,36	1,00	0,06	0,00
Na cambiable, meq/100 g	0,49	0,85	0,23	0,18
Suma de bases cambiables en meq/100 g	4,88	4,28	--	--

^{1/} El efecto de orilla se notó solamente en los camellones mayores que son los de 4, 5 y 6 m de ancho. El muestreo se hizo a los 30 días de crecimiento de las plantas a una profundidad de 0-30 cm. En la orilla se muestreó a 50 cm del borde de los camellones y se sacaron muestras compuestas en el centro y la orilla de los camellones con 3 submuestras por cada unidad de muestreo.

Cuadro A32. Costos variables registrados durante el experimento con base de una hectárea.

Item	MANO DE OBRA	
	Horas/hombre	Costo en colones
Limpieza y desbasura	252	630,00
Canales de desagüe ^{1/}	14	35,00
Construcción de camellones ^{1/} (valor promedio)	49	122,50
Mantenimiento anual de camellones (valor promedio)	68	170,00
Pica de terreno	412	1.030,00
Aplicación Aldrín	112	280,00
Siembra	512	1.280,00
Control de pájaros por centinela	296	740,00
Siembra de faltantes	46	115,00
Raleo	118	295,00
Aplicaciones de fertilizante (2)	212	530,00
Deshierba (1)	344	860,00
Aplicación de insecticidas	16	40,00
Cosecha de frijol	200	500,00
Doblado de maíz	56	140,00
Cosecha de maíz	288	720,00
Sub-total	2.995	7.487,50
INSUMOS		
Semillas de frijol en kg	44,28	257,68
Semillas de maíz en kg	20,96	92,24
Aldrín en kg	2280	273,60
Sevin en kg	0,96	17,28
Fertilizantes	700,00	639,28
Sub-total		1.280,08
TOTAL		8.767,58

^{1/} Amortizado sobre un período de vida de 20 años y calculado en base a un período de ocupación del terreno de cuatro meses.

Cuadro A33. Ingreso total bruto realizado a partir de todos los tratamientos del experimento.

	Rendimiento promedio (kg/ha)	Precio/kg en colones <u>1/</u>	Valor de la producción en colones
Frijol	922	5,00	4.610,00
Maíz	2718	1,67	4.539,06
Total			9.149,06

1/ ₡8,54 = US\$1.00

Cuadro A34. Costo de los camellones en horas/hombre/hectárea (hr/ha), según su ancho respectivo correspondiente a un período de ocupación del terreno de cuatro meses.

Ancho de camellón (m)	(1) Preparación inicial (hr/ha)	(2) Preparación inicial amortizada sobre 20 años (hr/ha) (1)/20	(3) Mantenimiento anual (hr/ha)	(4) Costo anual (hr/ha) (2) + (3)	(5) Costo de 4 meses (hr/ha) (4)/3
1	2195	110	131	241	80
2	1937	97	81	178	59
3	2082	104	64	168	56
4	2426	121	44	165	55
5	2954	148	44	192	64
6	3699	185	44	229	76

Cuadro A35. Cálculo de la razón beneficio adicional/costo adicional en función de un período de ocupación del terreno de cuatro meses.

Ancho del camellón en m	Costo adicional en colones* (1)	Ingreso adicional en colones* (2)	Beneficio adicional (2) - (1)	Beneficio adic./ costo adicional (2) - (1)/(1)
1	201,78	1.340,52	1.138,74	5,64
2	145,09	1.183,86	1.038,77	7,16
3	136,67	1.106,60	969,93	7,10
4	143,79	1.058,72	914,93	6,36
5	160,73	1.025,89	865,16	5,38
6	186,69	1.002,12	815,43	5,37

* Valores estimados de las funciones (Fig. 8 y Fig. 9).

Costo de la mano de obra por hora: ₡2,50

₡8,54 = US\$1.00

Cuadro A36. Cálculo seguido en la determinación del ancho de camellón que maximiza la razón beneficio adicional/costo adicional.

1) Diferenciación de las funciones de ingreso adicional bruto y de costo adicional.

Función de ingreso adicional bruto

$$y_1 = 1323,81 e^{0,01x} x^{-0,20} \quad (1)$$

Función de costo adicional

$$y_2 = 440,56 e^{0,32x} x^{-0,95} \quad (2)$$

Las funciones (1) y (2) tienen la forma general siguiente:

$$y = A e^{bx} x^{-c} \quad (3)$$

La función (3) corresponde a la forma más sencilla:

$$y = A u v \quad (4)$$

$$\text{donde: } u = e^{bx} \quad \text{y} \quad v = x^{-c} \quad (5)$$

La forma diferencial de (4) con respecto a x es:

$$\frac{dy}{dx} = A \left(v \frac{du}{dx} + u \frac{dv}{dx} \right) \quad (6)$$

La forma diferencial de (5) con respecto a x es:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dx} &= e^{bx} b \\ \text{y} \quad \frac{dv}{dx} &= -c \frac{x^{-c}}{x} \end{aligned} \quad (7)$$

Reemplazamos la ecuación (7) por su valor en la ecuación (6):

$$\frac{dy}{dx} = A \left(x^{-c} e^{bx} b - e^{bx} c x^{-c-1} \right) \quad (8)$$

$$\frac{dy}{dx} = A e^{bx} x^{-c} (b - cx^{-1}) \quad (9)$$

continúa....

Cuadro A36 (continuación)

Entonces, la ecuación (9) es la forma diferencial de las ecuaciones (1) y (2). Ya tenemos:

Función de ingreso adicional marginal bruto

$$\frac{dy_1}{dx} = 1323,81 e^{0,01x} x^{-0,20} \left(0,01 - \frac{0,20}{x}\right) \quad (10)$$

Función de costo adicional marginal

$$\frac{dy_2}{dx} = 440,56 e^{0,32x} x^{-0,95} \left(0,32 - \frac{0,95}{x}\right) \quad (11)$$

- 2) Valores calculados (en colones) de costo adicional marginal y de ingreso adicional marginal, según el ancho de los camellones (en metros).

Ancho del camellón	Costo adicional marginal a	Ingreso adicional marginal b
0,1	- 11953,49	- 4179,39
0,2	- 3103,22	- 1811,86
0,3	- 1405,82	- 1109,30
0,4*	- 799,21	- 782,25
0,5*	- 514,15	- 596,03
0,6	- 357,42	- 476,93
1,0	- 124,99	- 254,05
2,0	- 21,71	- 105,82
3,0	- 0,91	- 62,05
4,0	12,16	- 41,77
5,0	21,08	- 30,26
6,0	30,27	- 22,92

*Zona donde a y b se cortan.