

CATIE  
ST  
IT-63

AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

Centro Interamericano de  
Documentación e Información  
Agrícola

19 FEB 1986

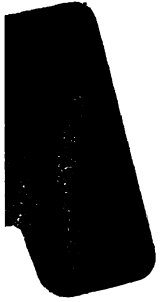
C I D I A  
Turrialba, Costa Rica

# CARACTERIZACION DEL SISTEMA MAIZ ASOCIADO CON SORGO

**METODOLOGIA DESARROLLADA  
PARA EXTRAPOLAR TECNOLOGIA  
PARA ESTE SISTEMA**



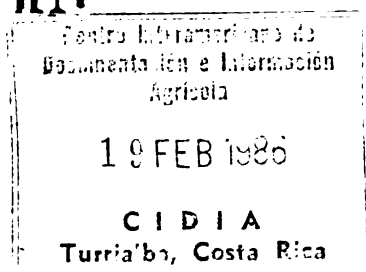
C513





SERIE TECNICA

Informe Técnico Nº 63



## **CARACTERIZACION DEL SISTEMA MAIZ ASOCIADO CON SORGO**

**metodología para extrapolar tecnología  
desarrollada para este sistema.**

La preparación y publicación de este documento ha sido financiada por el Proyecto AID/ROCAP, SMALL FARM PRODUCTION SYSTEMS, bajo el Contrato 596-0085. Proyecto SIPRO-CATIE-ROCAP.

**CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**  
**Departamento de Producción Vegetal**

El CATIE es una asociación civil sin fines de lucro, autónoma con carácter científico y educacional, que realiza, promueve y estimula la investigación, capacitación y cooperación técnica en la producción agrícola, animal y forestal, con el propósito de brindar alternativas a las necesidades del trópico americano, particularmente en los países del Istmo Centroamericano y de las Antillas. Fue creado en 1973 por el Gobierno de Costa Rica y el IICA. Acompañando a Costa Rica como socio fundador, han ingresado Panamá en 1975, Nicaragua en 1978, Honduras y Guatemala en 1979 y República Dominicana en 1983.

El Proyecto de Investigación y desarrollo de tecnología en sistemas de producción para fincas pequeñas (SIPRO-CATIE-ROCAP) es resultado de un convenio de cooperación técnica entre el CATIE, la Oficina de Programas Centroamericanos (ROCAP) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AID) y las instituciones nacionales de investigación agropecuaria de los países centroamericanos. El Proyecto, cuya ejecución comenzó en 1979, tiene como objetivo principal desarrollar una metodología de investigación aplicada y para la demostración y aplicación de resultados sobre metodologías de producción validadas a nivel de campo, que contribuyan a mejorar los sistemas de producción de los pequeños y medianos productores del sector rural centroamericano.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, 1985.

ISBN 9977-951-64-0

631.58

C397 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-.

Caracterización del sistema maíz asociado con sorgo : una metodología para extrapolar tecnología desarrollada para este sistema / Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Departamento de Producción Vegetal -- Turrialba, Costa Rica : CATIE, 1985.

51 p. ; 25 cm. -- (Serie técnica. Informe técnico / Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza ; no. 63).

ISBN 9977-951-64-0

1. Sistemas de producción (Maíz + Sorgo)  
I. Título II. Serie

AGRINTER F27



## CONTENIDO

Página N<sup>o</sup>

PROLOGO .....	iii
CAPITULO I. LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA AGRICOLA ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL	
ALGUNOS ANTECEDENTES .....	5
MARCO CONCEPTUAL .....	8
CAPITULO II. CARACTERIZACION DE UN SISTEMA DE CULTIVOS: MAIZ ASOCIADO CON SORGO	
EXTENSION Y LOCALIZACION .....	13
CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS EN AREAS DEL ASOCIO MAIZ + SORGO .....	16
Precipitación .....	16
Temperatura .....	20
Topografía .....	20
Tipos de suelos .....	20
MANEJO DEL SISTEMA MAIZ ASOCIADO CON SORGO .....	22
CONCLUSIONES .....	24
CAPITULO III. PREDICCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO PARA EL SISTEMA MAIZ ASOCIADO CON SORGO	
EL USO DE MODELOS PARA PREDECIR PRODUCCIÓN .....	29
LA TECNOLOGÍA MODELADA .....	30
DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS .	30
RESULTADOS .....	32
CONCLUSIONES .....	32
CAPITULO IV. UNA METODOLOGÍA PARA EXTRAPOLAR TECNOLOGÍA AGRICOLA EN CENTROAMERICA	
ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA .....	39
Estudios de caracterización .....	39
Construcción de modelos de producción .	39
Zonificación de la bondad tecnológica.	40
FACTIBILIDAD .....	41
Redes de investigación .....	41
Información edafoclimática disponible en Centroamérica .....	42
BIBLIOGRAFIA .....	46

## INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página N°</u>
1	Sorgo solo y asociado en Centroamérica .....	14
2	Perfil ambiental del sorgo asociado .....	17
3	Promedios de la precipitación mensual en áreas del sistema maíz + sorgo .....	19
4	Tipos de suelo en áreas del sistema maíz + sorgo. Honduras .....	21
5	Método de siembra y rotación de la tierra, en pendiente, en el sistema maíz + sorgo. Honduras .....	23
6	Localización y rendimiento de experimentos de maíz y sorgo asociados .....	33
7	Modelos de regresión de maíz, sorgo y asocio ..	35
8	Capacidad de predicción de los modelos del asocio maíz-sorgo .....	36

## INDICE DE FIGURAS

<u>Figura N°</u>		
1	Areas del sorgo asociado con maíz en Centroamérica .....	15
2	Condiciones ambientales en áreas del asocio maíz + sorgo .....	18
3	Comparación de rendimiento predicho por sitio y por regresión .....	34

## PROLOGO

*Este informe describe el sistema maíz intercalado con sorgo para ilustrar el procedimiento utilizado y los resultados obtenidos en la investigación de los medios por los cuales la tecnología para cultivos desarrollados en un área puede ser aplicada a otras áreas.*

*La generalización o aplicación de tecnologías desarrolladas en un área a otras similares es lo que se denomina extrapolación en este documento. La investigación en extrapolación es uno de los elementos del Proyecto de Sistemas de Producción para Fincas Pequeñas. Este Proyecto fue realizado por el CATIE entre 1979 y 1985 con la ayuda técnico financiera de la Oficina Regional para Programas Centroamericanos de la AID, ROCAP.*

*El informe ha sido organizado en cuatro capítulos. El primero resume los antecedentes y el marco conceptual en los que se basaron los supuestos de la metodología probada y posteriormente propuesta.*

*El capítulo segundo presenta una reseña del origen del sistema maíz intercalado con sorgo. También, describe los arreglos espaciales y cronológicos del sistema; así como las condiciones de clima y suelo que influyen en el manejo y desempeño del sistema. El capítulo concluye con un resumen de la caracterización del sistema maíz asociado con sorgo, la representatividad del sistema y la presentación de proposiciones que podrán explicar las diferencias en el manejo tradicional que se da al sistema en Centro América. Al mismo tiempo, se discuten las implicaciones que las diferencias de manejo tienen para el proceso de extrapolación.*

*En el capítulo tercero se describen los modelos matemáticos comúnmente usados para expresar el desempeño de los cultivos en función de su ambiente de clima y suelo. Seguidamente, se presentan los pasos seguidos para modelar los resultados de la tecnología estudiada y se discuten los resultados obtenidos.*

*En el capítulo cuarto se concluye con una síntesis de la metodología de extrapolación propuesta para tecnología de cultivos anuales. En este aparte se analiza qué información es necesaria para desarrollar modelos empíricos válidos. También se discute el nivel de utilización que se hace de la información de precipitación, suelos y el grado de compatibilidad de éstas a escala regional para extrapolar resultados.*

*Las referencias listadas en la sección de bibliografía proporcionan fuentes adicionales de información para las personas que desean profundizar en tópicos especiales.*

*El informe fue preparado por el Dr. Richard Hawkins. Asimismo el Dr. Julio Henao cooperó en su elaboración y analizó los datos experimentales.*

*La revisión de la redacción del texto estuvo a cargo del señor Tomás Saraví. El bibliólogo Ely Rodríguez, el Licenciado Héctor Chavarría y el señor Andrés Núñez, participaron en la revisión editorial, diseño, elaboración de gráficas y publicación de este informe.*

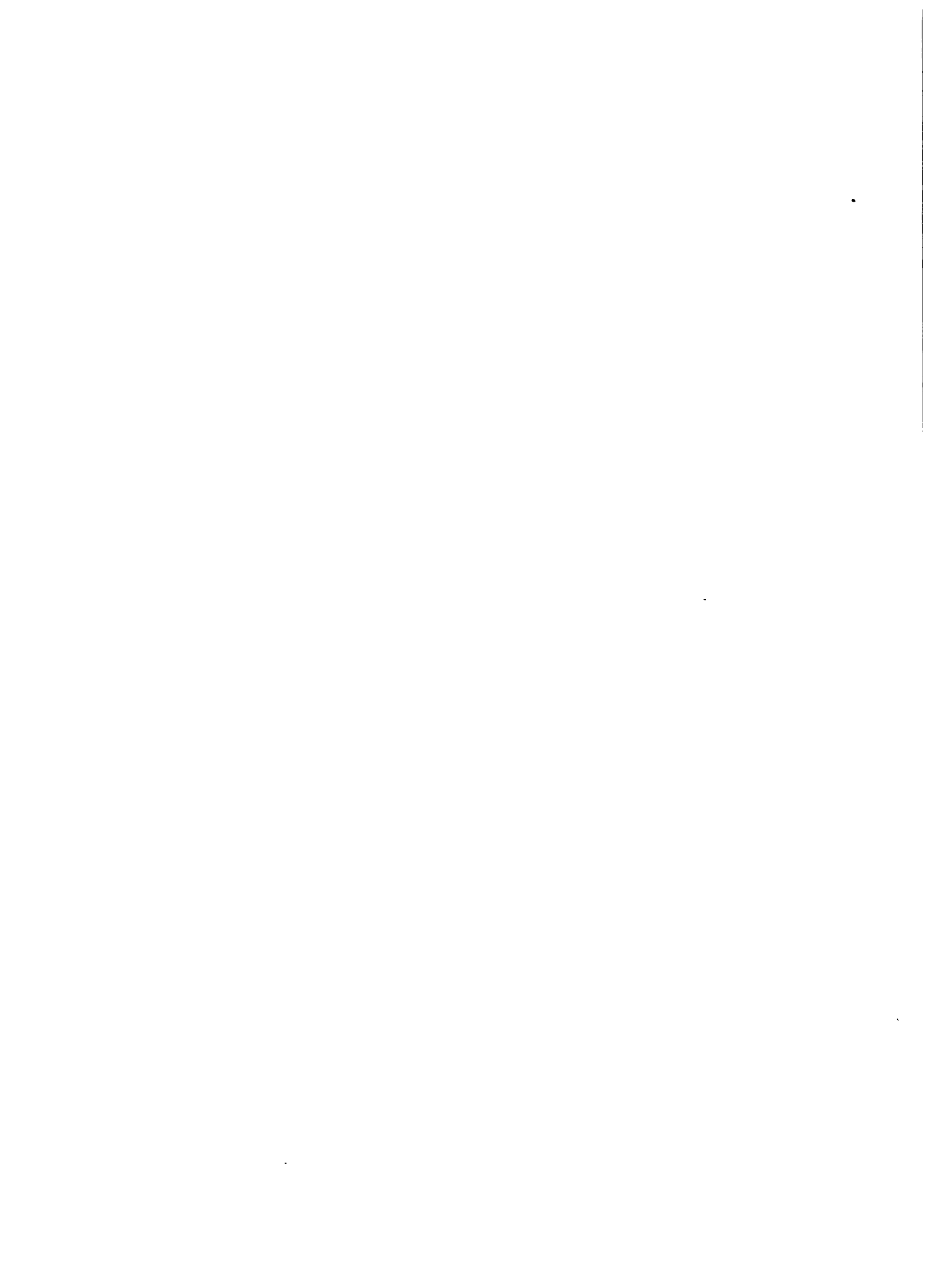
*Romeo Martínez Rodas*

*Jefe*

*Departamento de Producción Vegetal*



**LA TRANSFERENCIA  
DE TECNOLOGIA AGRICOLA:  
antecedentes y marco conceptual**





Se invierte mucho esfuerzo, intelectual y práctico, en mejorar la agricultura de los países menos desarrollados del mundo. Dicho esfuerzo está motivado por el papel importante que juega el sector agropecuario en la economía de estos países y por la necesidad de alimentar adecuadamente a una población cada vez mayor.

El desarrollo agrícola consiste en dos pasos básicos: en primer lugar es preciso identificar una tecnología apropiada (se puede definir tecnología como una 'manera de hacer') y luego se debe transferir esa metodología a los agricultores usuarios. Que una tecnología sea apropiada depende de diversos factores que comprenden, en conjunto, las ambiciones del agricultor y los recursos de que dispone. Como todas las fincas y todos los agricultores son diferentes, la tecnología apropiada diferirá entre finca y finca. Aun dentro de una misma finca los suelos y otros recursos pueden variar; asimismo, la manera más efectiva de utilizar una parcela puede variar dentro de la finca y de un año a otro.

En el pasado no se apreció la importancia de esta especificidad de la tecnología agrícola. Como señalaron Hayami y Ruttan (1981), la falta de "reconocimiento de carácter de la situación específica de la tecnología agrícola fue una razón principal de la falta de eficiencia en gran parte de la asistencia técnica de las agencias nacionales e internacionales durante los años 50 y 60".

Los primeros intentos de desarrollar el sector agropecuario en los países menos desarrollados involucraron muchas veces el traslado de tecnología exitosa en climas templados a los trópicos, donde están situados la mayoría de esos países. Con frecuencia, esos intentos tuvieron magros resultados, debido a las marcadas diferencias entre los recursos físicos y económicos de los agricultores y sus aspiraciones en ambas regiones. Como resultado de esos fracasos, se reconoció la necesidad de desarrollar tecnología bajo condiciones más representativas; durante los últimos 20 años fueron establecidos numerosos centros internacionales de investigación agropecuaria en los trópicos.

Algunos de los programas de los centros internacionales lograron mucho éxito (por ejemplo, las nuevas variedades de trigo y arroz del CIMMYT y el IRRI); otros tuvieron resultados más limitados. La falta de progreso, muy notable sobre todo en los agricultores que disponen de poco terreno y limitados recursos

-caso predominantes en los trópicos- aumentó el reconocimiento del factor de especificidad de sitio y dio impulso a lo que se ha denominado 'investigación de sistemas'.

El enfoque de sistemas es una consecuencia lógica de la naturaleza específica de la tecnología agrícola. El énfasis de la investigación pasa de la orientación disciplinaria o por producto, al estudio del "complejo de suelos, agua, cultivos, animales, mano de obra y otros recursos y características del ambiente que maneja el agricultor según sus deseos, capacidades y la tecnología disponible" (Shaner *et al*, 1982).

En un programa de investigación en el que se utiliza el enfoque de sistemas, el esfuerzo se concentra habitualmente en un área o región definida, escogida de acuerdo con las prioridades del gobierno y las perspectivas de aumentar la producción. Los límites del área de trabajo se seleccionaron de tal manera que resulte tan homogénea como sea posible, aunque los límites muchas veces siguen divisiones administrativo-políticas. Son recopilados datos de los recursos del área, tecnología actual, etc., extraídos de datos secundarios y de encuestas; con esa información el equipo investigador propone cambios en la tecnología actual que puedan ser beneficiosos para el agricultor, y esas tecnologías alternativas son probadas mediante ensayos y registros. La investigación de alternativas se hace, en la medida de lo posible, en condiciones reales enfrentadas por los agricultores; según la complejidad de los ensayos requeridos, pueden llevarse a cabo en estaciones experimentales (si existen) o en fincas del agricultor, y pueden ser manejados por los investigadores o por los mismos agricultores. Cualquiera que sea el procedimiento utilizado en la investigación, como paso final es necesario comprobar la tecnología propuesta en un número de fincas que sea suficiente para determinar si realmente la alternativa representa un mejoramiento sobre la tecnología tradicional.

La tendencia hacia áreas objetivo más pequeñas (y más numerosas) implica un aumento en el costo, pero se supone que conlleva un aumento en la eficiencia. Una posible manera de mejorar la relación beneficio/costo de la investigación agropecuaria es asegurar que la tecnología desarrollada llegue al máximo número de usuarios. Es posible, por ejemplo, que agricultores de un área distinta pero semejante a aquella donde se desarrolló alguna tecnología puedan beneficiarse de la misma. El problema reside en la identificación de tales áreas secundarias.

Como respuesta a este problema, se financió un componente en la Agencia de Desarrollo Internacional de los Estados Unidos, dentro del Proyecto AID N° 596-0083, con el objetivo de "desarrollar una metodología para extrapolar la investigación en sistemas de cultivos de un área a otras semejantes". Este informe resume los resultados de ese componente del Proyecto.

## ALGUNOS ANTECEDENTES

La transferencia de tecnología agrícola puede ser considerada como el traslado de una innovación agrícola de una localización a otra donde es probable que también tenga éxito (Uehara, 1981).

Como ha destacado Nix (1980), la mayor parte de la investigación agrícola está basada en el concepto de transferencia por analogía. Como es imposible repetir todos los experimentos en cada finca, se selecciona un sitio 'representativo' y los resultados se 'extrapolan' a otros sitios que tienen características semejantes. La hipótesis central es que todos los sitios, dentro de una clase definida, deberían responder de igual manera al manejo.

La zona que se supone representa el sitio de investigación escogido se ha denominado 'dominio de recomendación' (Perrin *et al*, 1976), 'zona de extrapolación' o 'complejo de producción' (Zandstra *et al*, 1981). Dicha zona puede ser contigua o puede consistir en diferentes áreas, separadas geográficamente, que responden en forma semejante a la tecnología definida.

El problema central es cómo identificar, en forma objetiva y cuantitativa, esa área que responda en formasuficientemente semejante a los sitios experimentales, como para considerarla dominio de recomendación. Al describir la selección de áreas, Shaner *et al* (1982) afirma que cuando se selecciona bien el área para investigación, los resultados son transferibles a través del área objetivo; sin embargo, los criterios para 'seleccionar bien' el área son subjetivos.

El problema de definición del área de aplicabilidad de la tecnología puede ser replanteado como identificación de un sistema de clasificación geográfica, de tal forma que una clase se aproxime al dominio de recomendación. Esa clasificación puede incluir factores físicos como el clima y los suelos, que limitan la producción misma, y factores socioeconómicos, que influyen en la adopción de la tecnología por parte del agricultor.

Durante años, y con diferentes propósitos, han sido propuestas varias clasificaciones de clima, suelos, vegetación, uso de la tierra y zonas agroecológicas; muchas de ellas han sido reseñadas por Burgos (1968), Krishnan (1980), Dent y Young (1981) y Chang (1981), entre otros. Con más datos disponibles y más capacidad de computación este tipo de clasificación se ha refinado, con el propósito de que la clasificación desarrollada pueda servir para propósitos de transferencia de agrotecnología (Russell, 1980; Virmani *et al*, 1980; Reddy, 1983).

Sin embargo, es evidente que la clasificación más apropiada dependerá de la naturaleza de la tecnología utilizada. La flor de frijol aborta a temperaturas mayores a un promedio aproximado de 24°C; en consecuencia, la isoterma de 24°C puede ser muy importante en la clasificación de áreas para tecnologías que involucran frijol, pero de menor importancia para el maíz. Además,

cuando más refinada sea una tecnología, más específica en cuanto a localización será y más compleja tendrá que ser la clasificación utilizada. Por ejemplo, el maíz tiene una adaptación amplia en Centroamérica, pero las áreas donde se pueden lograr dos siembras en un mismo año son más limitadas, y las áreas en que tienen validez recomendaciones específicas de fertilización son aún más limitadas.

Las clasificaciones generales (no específicas para una tecnología dada) utiliza muchas veces algún promedio anual o alguna combinación de valores mensuales como índices; por eso son más aptas para vegetación natural o cultivos perennes que para cultivos anuales, en los cuales sólo las condiciones durante el ciclo son importantes. Por esta razón, Burgos (1968) concluyó que las clasificaciones genéticas tienen un valor puramente geográfico o climático, y no pueden aplicarse a problemas prácticos de producción. No obstante ello, tales clasificaciones son utilizadas a veces para dar una idea del ambiente de un área objetivo y definir, de ese modo, prioridades de la investigación. Un ejemplo es el estudio del área objetivo del Programa de Producción Animal del CIAT, que cubre regiones de suelos Oxisol y Ultisol del trópico americano, con el propósito de "clasificar los recursos de tierra en términos de clima, fisiografía y suelos, y suministrar una síntesis económica orientada geográficamente, que pueda servir como base para la estrategia de transferencia tecnológica del programa" (CIAT, 1979).

Un ejemplo reciente del uso de una clasificación general para transferencia de tecnología es la Taxonomía de Suelos. Dicha clasificación consiste en un sistema de seis niveles de organización jerárquica, compuesta de orden, sub-orden, gran grupo, sub-grupo, familia y serie (USDA, 1975). La comprensión del sistema, que incluye como criterios factores de disponibilidad de agua y de temperatura durante varias épocas del año, ha llevado a concluir que la Taxonomía de Suelos es especialmente apta para definir nichos ecológicos aprovechables en la producción agrícola (Beinroth *et al*, 1980).

Para comprobar esta hipótesis se efectuó una serie de experimentos, con el propósito de definir superficies de respuesta a la fertilización, principalmente en cuanto a fósforo. En general se encontró que suelos de la misma familia respondieron en forma semejante a fertilización con fósforo, aunque el uso previo del sitio afectó las curvas de respuesta (Beinroth *et al*, 1982).

Una limitación del uso de la Taxonomía de Suelos como método universal de transferencia de tecnología es su aparente validez sólo para ciertos aspectos de la tecnología agrícola. En los experimentos descritos, por ejemplo, fueron utilizadas diferentes variedades de maíz, de acuerdo con el sitio. Otra limitación reside en que no están definidos en forma global todos los suelos que pueden tener respuestas semejantes. Existen varios miles de familias de suelos sólo en los Estados Unidos; es muy posible que diferentes familias puedan responder en forma parecida a al-

guna tecnología, pero esa semejanza no será reconocida si la transferencia se limita a suelos de la misma familia. No obstante, el desarrollo de una metodología para evaluar cuantitativamente la transferencia de alguna tecnología agrícola dentro de un agroambiente específico (Cady *et al*, 1982) fue un paso adelante. Con base en esa experiencia, se llegó a definir la transferencia de tecnología como la "extrapolación de una relación respuesta-entrada, lograda en situaciones experimentales conocidas, a otras condiciones semejantes" (Wood y Cady, 1981).

El enfoque que consiste en definir áreas análogas puede ser mejorado si se crea una clasificación para la tecnología bajo consideración. Después de la Segunda Guerra Mundial, Nuttenson efectuó una serie de estudios para definir sitios en Norteamérica semejantes a regiones de Europa Oriental y Japón por la guerra, con el propósito de ofrecer con buena posibilidad de éxito el transporte de material vegetativo de un área a su contraparte climática. Los elementos de comparación utilizados por Nuttenson (1947) fueron promedios mensuales de temperatura y precipitación, latitud y longitud, y duración de la época libre de heladas. Sin embargo, es difícil encontrar evidencias de que los estudios de Nuttenson fueran utilizados en forma práctica.

Han sido sugeridas otras clasificaciones específicas para ciertos cultivos o tecnologías (Burgos, 1968; Chang, 1981). Un caso, basado inicialmente en datos climáticos bien sencillos, es la clasificación agroclimática de zonas arroceras adoptada por el IRRI (1977). El criterio principal de esa clasificación es el número de meses secos (100 mm de precipitación), o húmedos (200 mm). Se supuso que para el arroz inundado fue necesaria una precipitación en exceso de 200 mm mes<sup>-1</sup> y para cultivos de secano más de 100 mm mes<sup>-1</sup>. Utilizando ese criterio, áreas con más de 9 meses húmedos fueron calificadas como aptas para dos siembras de arroz, y un área con 5-9 meses húmedos y 3-7 con 100-200 mm mes<sup>-1</sup>, fue calificada como apta para una siembra de arroz inundado seguida por un cultivo sucesivo de secano. Posteriores estudios realizados en el IRRI refinaron esa clasificación básica con datos más detallados de clima y de suelos (por ejemplo, precipitación por década) con el fin de definir áreas de extrapolación para arreglos de cultivos y tecnología componente (IRRI, 1979).

Otro ejemplo de un análisis específico para identificar áreas donde pueda funcionar alguna tecnología dada, es el descrito por Virmani (1980), quien relacionó la probabilidad de precipitación con los riesgos involucrados en sembrar en seco; utilizó para ello tecnología desarrollada en ICRISAT.

Con la recopilación de más información sobre la relación cultivo-ambiente es posible construir modelos de producción cada vez más complejos. Un estudio del Proyecto de Zonas Agroecológicas, patrocinado por la FAO para valorar el uso potencial de los recursos de tierra del mundo, se basó en la suposición de que la aptitud de la tierra sólo tiene sentido en relación a un uso definido. Para numerosos cultivos fueron realizadas estimaciones

de productividad basadas en épocas de crecimiento y tipo de clima. Dichas estimaciones fueron modificadas luego por las restricciones de suelo, clima, plagas, enfermedades y malezas, y subdivididas de acuerdo con el uso de insumos (FAO, 1981). El resultado de esa metodología fue la determinación de cuatro clases de aptitud para cada cultivo, expresadas como porcentajes del rendimiento teóricamente obtenible.

Esta revisión de los sistemas de clasificación no se propone ser definitiva, pero muestra algunos de los enfoques y conceptos que han sido sugeridos para facilitar la transferencia de tecnología. Algunas veces, métodos que difieren en su grado de análisis de la relación ambiente-tecnología, están divididos en transferencia basada en analogía, métodos basados en factores importantes de cada sitio (métodos de factor-sitio) y simulación (Swindale, 1980). Sin embargo, es evidente que todos los métodos tienen como objetivo, al fin y al cabo, definir áreas análogas; sólo el grado de pertinencia de la clasificación utilizada (p. ej. la precisión del modelo) difiere con la complejidad de la clasificación.

#### MARCO CONCEPTUAL

Basándose en la discusión que se acaba de reseñar, el Proyecto partió del supuesto de que cualquier definición de áreas similares o análogas, dentro de las cuales se pueda extrapolar resultados experimentales o transferir tecnología agrícola, debe ser específica de la tecnología dada. Para definir tales áreas es necesario estudiar los factores que determinarán respuestas de la tecnología y la manera en que esos factores varían a través del área potencial de transferencia.

Los determinantes de la tecnología, o sea los factores ambientales que influyen en el uso de la tecnología, pueden ser de naturaleza edafoclimática o socioeconómica. Los factores edafoclimáticos generalmente son los que determinan la producción biológica; los factores socioeconómicos son los que determinan si la tecnología es compatible con las expectativas y recursos económicos del agricultor. Aunque es imposible separar completamente estos dos aspectos que determinan el éxito de la tecnología, el Proyecto concentró esfuerzos en los factores edafoclimáticos.

La localización de un sistema de cultivo está determinada en parte por la producción o el ingreso generado por el mismo sistema, y en parte por las posibilidades ofrecidas por sistemas alternativos. Cuando una tecnología involucra cambios en el manejo de un sistema de cultivo tradicional, por medio de la introducción de nuevas variedades o de la protección de plantas, por ejemplo, la extensión real del sistema puede constituir una primera aproximación al área potencial para extrapolación de la tecnología. Además, como se señaló anteriormente, cuando existen áreas con el mismo sistema de cultivos, manejado en forma

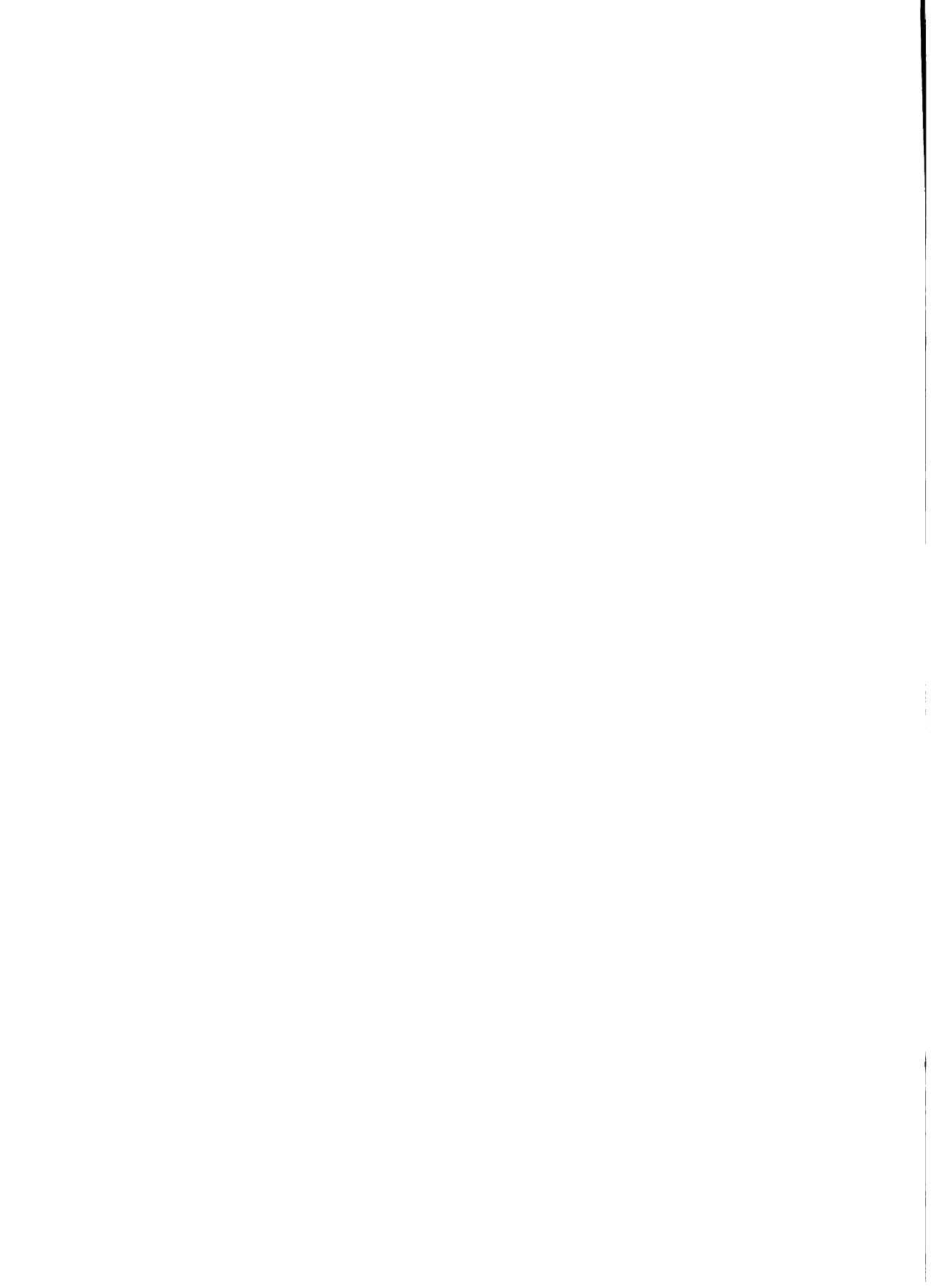


semejante, es probable que las condiciones edafoclimáticas sean similares y que las áreas respondan de igual manera a una nueva tecnología.

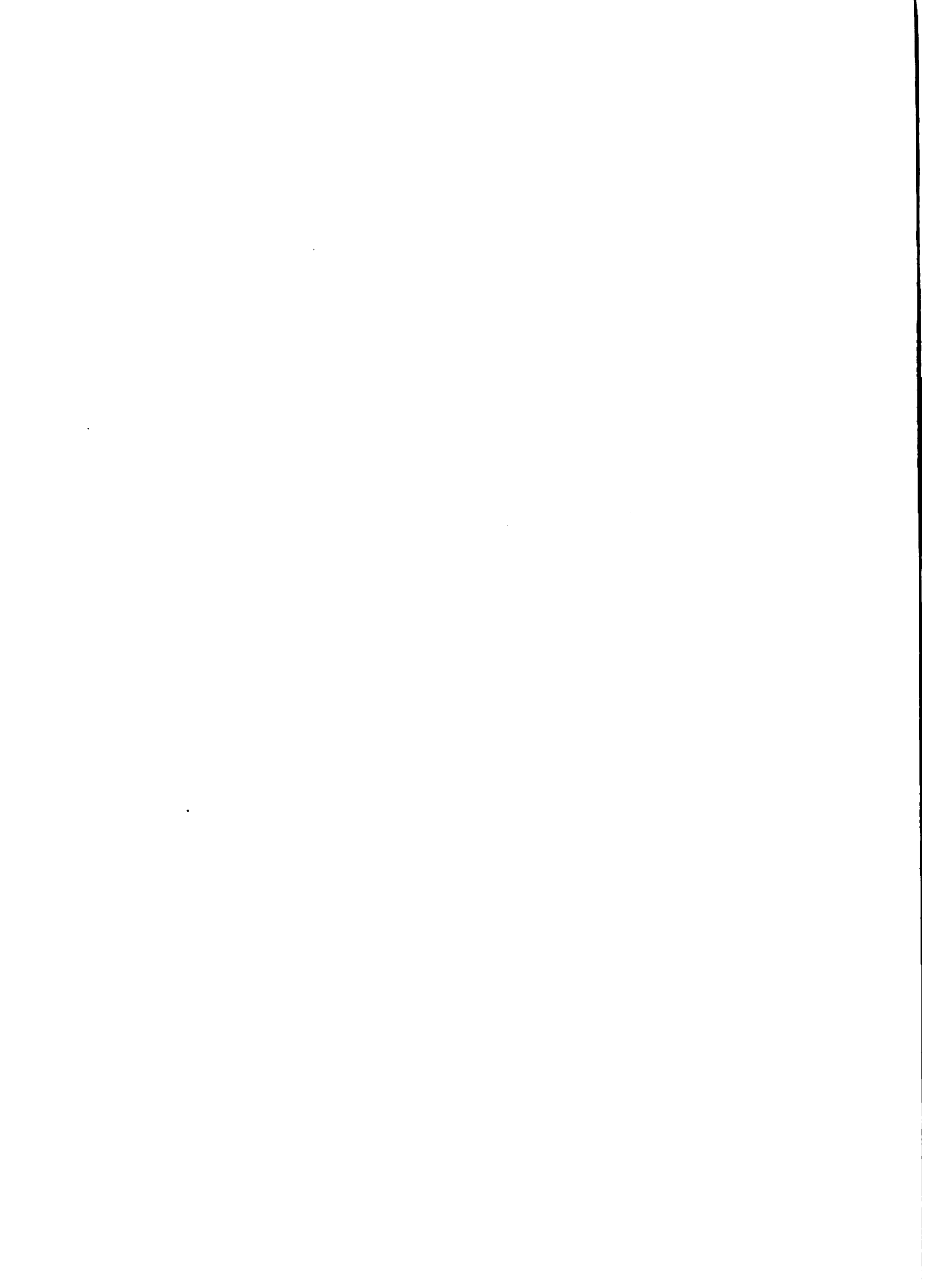
Tomando en cuenta esos puntos, el Proyecto se desarrolló en dos fases principales. En la primera fase se hizo una caracterización de los sistemas de cultivo existentes en el Istmo Centroamericano, sobre todo en los sistemas practicados por pequeños agricultores de la región. Esa fase de caracterización involucró la recopilación de datos estadísticos de los países, con el propósito de identificar los sistemas de cultivos principales y su localización, y un análisis de las condiciones edafoclimáticas en que se cultiva en cada sistema. El Proyecto estudió también el manejo tradicional de algunos de los sistemas de cultivo principales, utilizando para ello una encuesta a agricultores realizada en Honduras.

La segunda fase del Proyecto comprendió un estudio de los factores edafoclimáticos que influyeron en la producción de diferentes paquetes tecnológicos específicos. Para lograr esto, se utilizó un proceso de experimentación ejecutado en el área identificada en la primera fase como una primera aproximación del área de extrapolación potencial, con la idea de construir modelos empíricos que pudieran predecir la producción con base en factores edafoclimáticos.

Los resultados completos de esas dos fases están detallados en el informe técnico final del Proyecto. Para ilustrar el tipo de resultado obtenido, y como base para discutir una posible metodología para la extrapolación de tecnología agrícola en el Istmo y su factibilidad, se describe a continuación la caracterización de uno de los sistemas de cultivo estudiados y el diseño de una tecnología desarrollada para agricultores que practican ese sistema.









## EXTENSION Y LOCALIZACION

El sorgo, introducido al Nuevo Mundo por marineros portugueses o esclavos, tradicionalmente ha sido sembrado en Centroamérica en asocio con maíz. Anderson y Williams (1954) estimaron que esta práctica fue típica de áreas extensivas de Honduras, Guatemala y Nicaragua. Ellos observaron que el maíz y el sorgo eran sembrados simultáneamente al inicio de las lluvias, y que el maíz maduraba primero; se cosechaba antes de la maduración del sorgo, que ocurre en la época seca. También notaron que "al preguntar en forma despreocupada, se contesta que el sorgo se produce para las gallinas y el maíz para la familia. Preguntando más cautelosamente, se puede concluir que en años malos una proporción elevada de la producción de sorgo se usa para alimento humano".

Con la introducción del sorgo híbrido, la extensión de sorgo sembrado solo en la región ha aumentado considerablemente en años recientes. Sin embargo, esa extensión está dedicada a un producto para alimentación animal; es una actividad tecnificada, llevada a cabo por los agricultores con mayores recursos de tierra, maquinaria y finanzas.

En el Cuadro 1 puede analizarse las áreas de sorgo según la modalidad de siembra, solo o asociado, en los cuatro países de Centroamérica donde existen sistemas tradicionales del cultivo.

Se puede observar que casi todo el sorgo en El Salvador y Honduras está sembrado en forma asociada; en Nicaragua y Guatemala existen áreas extensivas de sorgo asociado, pero también áreas considerables del cultivo puro (principalmente híbridos).

Aunque existen otros arreglos de cultivos, en la gran mayoría del sorgo asociado el cultivo acompañante es el maíz. La localización de este sistema de cultivo se muestra en la Figura 1; en ella se observa que la práctica de asociar sorgo se concentra en áreas más cercanas al Océano Pacífico, extendiéndose desde la región sudoriental de Guatemala hasta el Lago de Nicaragua. Las siembras más densas están en El Salvador y en el sur de Honduras; en algunas de esas áreas casi todo el maíz está asociado con sorgo.

Cuadro 1. Sorgo solo y asociado en Centroamérica.

País	Año	CULTIVO SOLO			CULTIVO ASOCIADO		
		Area (000 ha)	Producción (000 tm)	Rend. (tm ha <sup>-1</sup> )	Area (000 ha)	Producción (000 ha)	Rendimiento (tm ha <sup>-1</sup> )
Honduras	1980	6	7	1,06	56	50	0,90
El Salvador	1981	3	4	1,60	113	129	1,15
Nicaragua	1981	45	74	1,60	20	22	1,10
Guatemala	1979	17	31	1,87	44	43	0,99

Fuente: Honduras (1981), El Salvador (1982), Nicaragua (1982), Guatemala (1983), Nicaragua (1983).

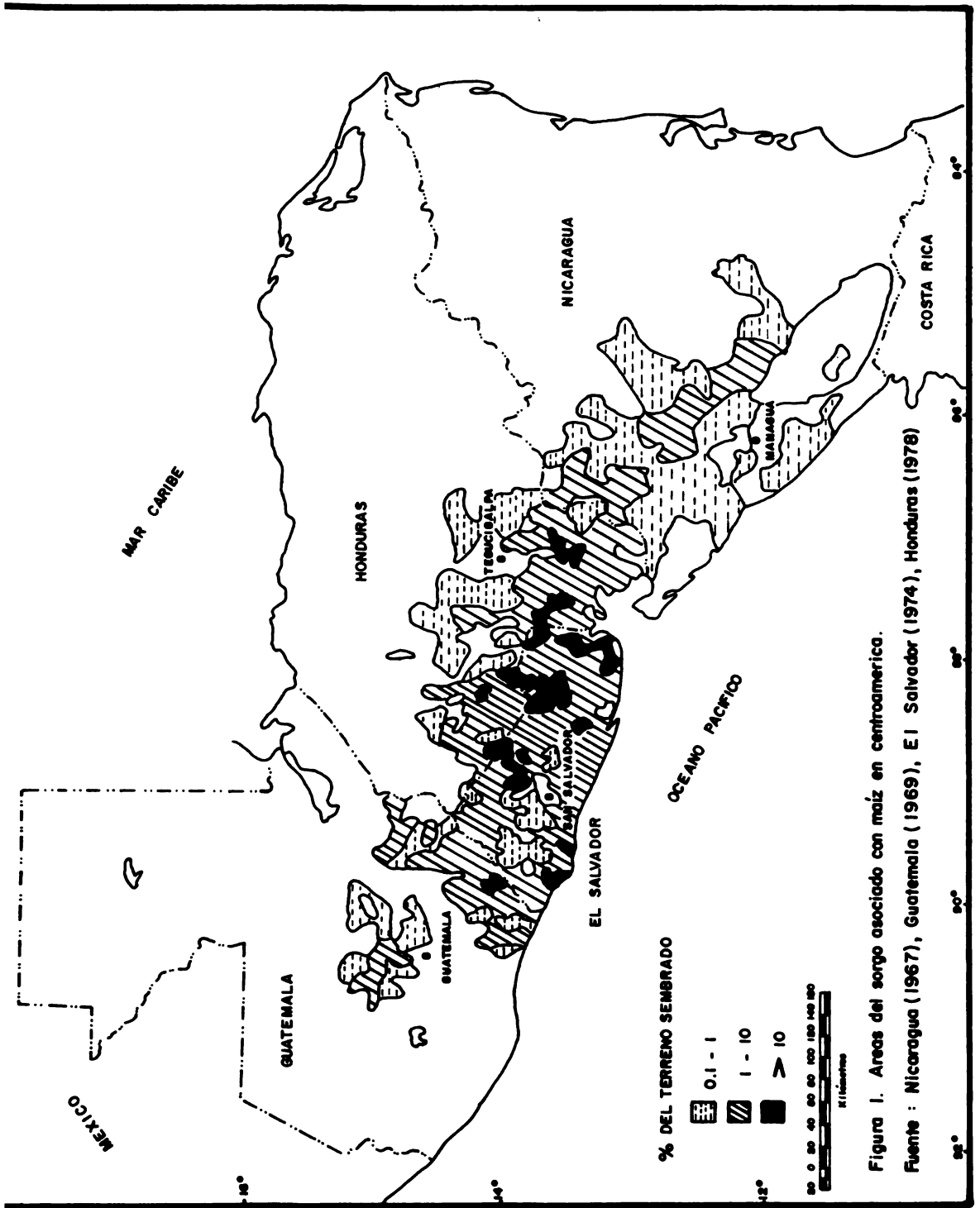


Figura 1. Areas del sorgo asociado con maiz en centroamerica.  
Fuente : Nicaragua (1967), Guatemala (1969), El Salvador (1974), Honduras (1978)

## CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS EN AREAS DEL ASOCIO MAIZ + SORGO

Para caracterizar el área donde se siembra maíz asociado con sorgo fueron superpuestos datos de área sembrada con los de clima y suelo, utilizando el Sistema Comprensivo de Inventario y Evaluación de Recursos (CRIES, en inglés), desarrollado por la Universidad del Estado de Michigan (USDA, 1980). Los datos geográficos fueron codificados y almacenados en secciones de un km<sup>2</sup> (Garro, 1982), ordenadas de acuerdo con la descripción ambiental; luego se calculó el área del maíz + sorgo en cada zona. Los resultados de este análisis son presentados en el Cuadro 2 y la Figura 2.

En la Figura 2 (izq.) se representa el porcentaje del área del sistema de cultivo dentro de cada régimen de precipitación, temperatura y topografía, indica las condiciones en donde se localiza la mayoría del sistema. La Figura 2 (der.) da el porcentaje de la superficie total que está sembrada con maíz-sorgo de acuerdo con el factor; muestra la intensidad de siembras bajo las diferentes condiciones. La diferencia entre las dos maneras de presentar los datos se nota en una consideración del número de meses de lluvia; la mayoría de sistemas están en áreas con siete meses de lluvia, pero regiones menos extensivas con sólo cuatro meses de lluvia tienen mayor proporción de su área sembrada con el sistema.

### Precipitación

De la consideración de los promedios anuales y mensuales, se podría concluir que el sistema se siembra en áreas de precipitación adecuada, distribuida en siete meses. Sin embargo, la vertiente del Pacífico de esos países sufre una distribución de lluvia errática, con épocas de precipitación muy fuerte que alterna con sequía. Para ilustrar acerca de la variación temporal y espacial en la precipitación, en el Cuadro 3 son presentados promedios de los datos mensuales (10 años mínimo) tomados de estaciones meteorológicas ubicadas en el área del sistema (con intensidades de siembra mayores del 1 %). Estos promedios fueron ponderados de acuerdo con el número de estaciones meteorológicas existentes en cada país, con el propósito de evitar la sobrerrepresentación de áreas en las cuales existe una alta densidad de estaciones, como sucede en El Salvador.

La precipitación es muy variable entre los diferentes sitios, como se puede observar en el Cuadro 3. El rango de variación es especialmente notable para el mes de julio con valores que van de 33 hasta 483 mm. El problema de variación temporal puede ilustrarse con casos específicos; por ejemplo, el promedio mensual de julio en Mina La India, Nicaragua, es de 96 mm, pero la lluvia confiable, o sea la que puede esperarse tres años de cada cuatro (Hargreaves y Hancock, 1978) es de sólo 35 mm. Por otro lado, el promedio para setiembre es de 276 mm, pero cada



Cuadro 2. Perfil ambiental del sorgo asociado.

a) Lluvia Promedio Anual (mm)

PAIS	Area (km2)	< 800	800 1 200	1 200 1 600	1 600 2 000	2 000 2 400	2 400 2 800	2 800 3 200	> 3 200	TOTAL
NICARAGUA	Total	349	9 111	15 634	11 510	17 978	28 421	21 005	14 806	118 859
	Sistema	9	102	79	30	18	10	4	0	251
HONDURAS	Total	1 657	21 020	30 201	13 676	24 816	11 893	7 608	1 620	112 493
	Sistema	46	73	195	191	58	27	0	0	589
EL SALVADOR	Total	0	16	520	14 599	4 200	553	0	0	20 923
	Sistema	0	1	74	806	252	10	0	0	1 144
GUATEMALA	Total	6 940	11 053	6 796	34 772	14 234	12 867	8 779	12 824	108 265
	Sistema	60	55	31	37	65	0	0	0	247
TOTAL	Total	8 946	33 000	53 151	74 557	61 228	53 724	37 392	29 250	360 540
	Sistema	114	230	378	1 063	392	48	4	0	2 231

b) Número de Meses Secos

PAIS	AREA (km2)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	TOTAL
NICARAGUA	Total	34 697	21 830	6 825	21 601	5 467	20 724	7 266	400	0	116 853
	Sistema	0	0	1	22	7	118	96	7	0	251
HONDURAS	Total	21 484	10 643	6 575	18 580	14 339	24 345	16 017	311	179	112 475
	Sistema	0	0	0	1	3	310	241	21	12	589
EL SALVADOR	Total	0	0	0	0	1 743	12 672	6 497	0	0	20 925
	Sistema	0	0	0	0	114	671	358	0	0	1 144
GUATEMALA	Total	16 770	6 338	25 281	19 739	5 873	8 248	23 531	2 476	0	108 256
	Sistema	0	0	0	0	9	81	141	15	0	247
TOTAL	Total	72 951	38 811	38 681	59 920	27 422	65 989	53 311	3 187	179	360 509
	Sistema	1	1	1	23	134	1 180	836	43	12	2 231

c) Temperatura Media

PAIS	AREA (km2)	6 - 12°C	12 - 17°C	17 - 24°C	>24°C	TOTAL
NICARAGUA	Total	5	1 215	76 869	40 724	118 859
	Sistema	0	5	195	51	251
HONDURAS	Total	0	7 478	100 330	4 673	112 484
	Sistema	0	18	518	52	589
EL SALVADOR	Total	5	294	16 238	4 378	20 928
	Sistema	0	5	857	281	1 144
GUATEMALA	Total	1 267	16 189	88 703	2 207	108 366
	Sistema	0	14	226	8	247
TOTAL	Total	1 277	25 176	282 140	51 982	360 637
	Sistema	0	41	1 796	392	2 231

d) Configuración de la Superficie

PAIS	AREA (km2)	LLANURAS (<10% PEND.)	CERROS (10-30% PEND.)	MONTAÑAS (> 30% PEND.)	TOTAL
NICARAGUA	Total	73 187	24 383	21 191	118 856
	Sistema	73	93	85	251
HONDURAS	Total	30 930	20 715	60 750	112 431
	Sistema	119	125	345	589
EL SALVADOR	Total	7 542	9 242	4 028	20 839
	Sistema	349	544	249	1 144
GUATEMALA	Total	42 196	28 845	37 162	108 203
	Sistema	72	75	100	247
TOTAL	Total	153 855	83 185	123 131	360 329
	Sistema	613	837	779	2 231

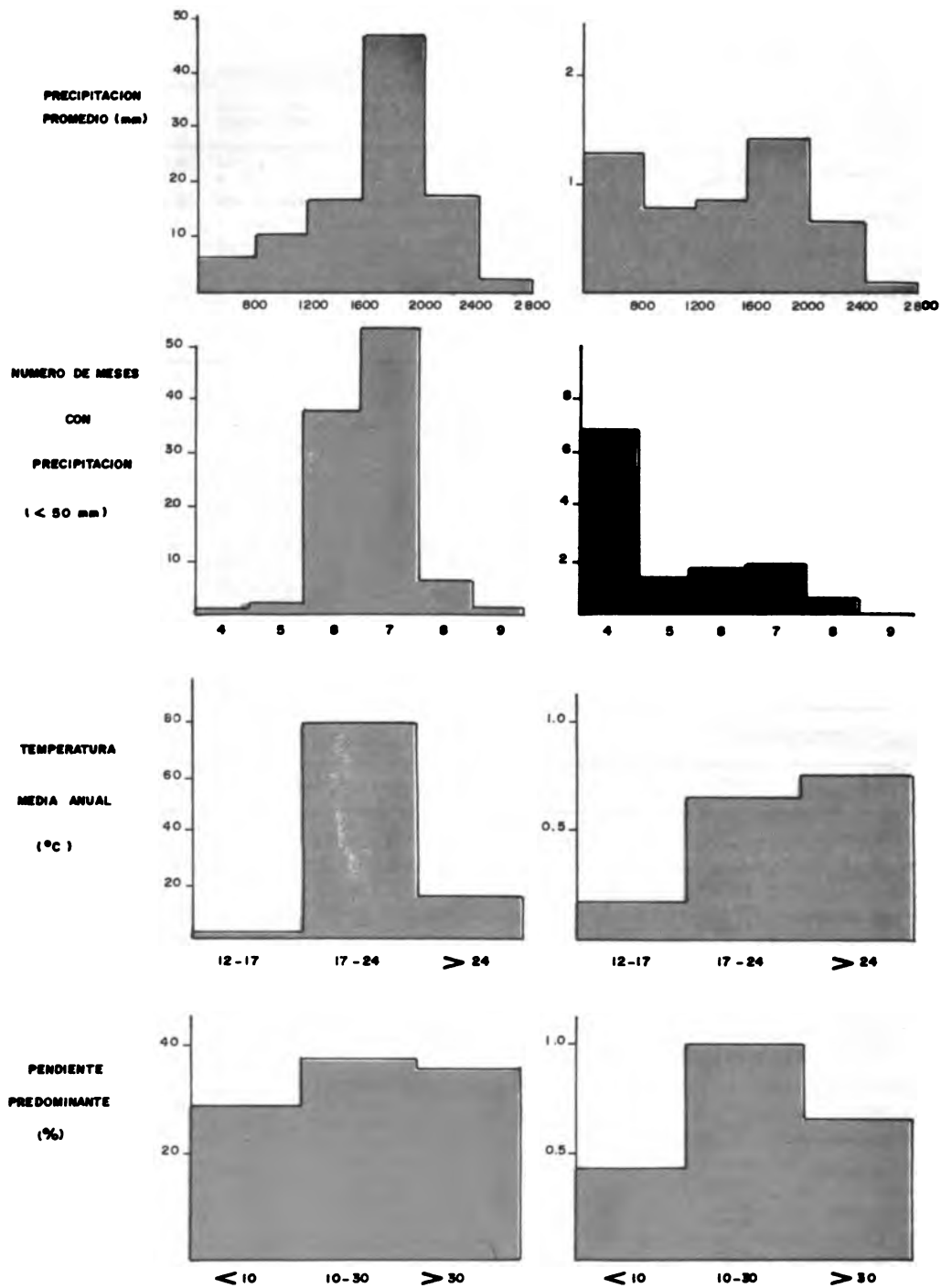


Figura 2. Condiciones ambientales en áreas del asocio maíz + sorgo; izquierda: porcentaje del área total del sistema, derecha: porcentaje del terreno sembrado con maíz + sorgo.

cuatro años caen 360 mm. Un ejemplo aún más extremo ocurrió en 1982 en San Juan de Limay, Nicaragua; allí a los 615 mm caídos entre mediados de mayo y mediados de junio, siguió una precipitación de 6 mm distribuidos a lo largo de 86 días.

Cuadro 3. Promedios de la precipitación mensual en áreas del sistema maíz + sorgo.

	Medio (ponderado) todas estaciones (mm)	Valor medio mensual máximo (mm)	Valor medio mensual mínimo (mm)
Enero	2	28	0
Febrero	2	23	0
Marzo	7	28	3
Abril	45	75	5
Mayo	187	391	55
Junio	324	502	52
Julio	298	483	33
Agosto	299	437	35
Setiembre	370	603	85
Octubre	272	446	64
Noviembre	44	109	7
Diciembre	6	53	0
<b>Total (ponderado)</b>	<b>1 867</b>	<b>3 456</b>	<b>541</b>

Fuentes: Hancock *et al*, 1978; Hargreaves, 1975, 1976; Hargreaves y Hancock, 1978.

Sitios como Mina La India y San Juan de Limay, entonces, oscilan entre épocas de sequía, causando pérdidas especialmente sobre suelos de poco espesor y pendiente, y aguaceros que pueden ocasionar lavados de tierra o inundaciones en tierras planas. Una descripción probabilística del régimen de precipitación requiere un análisis de datos diarios. En El Salvador, donde tales análisis han sido realizados, se encontró que épocas de 15 días o más sin lluvia en julio o agosto son probables en el 40 % de los años en la región oriental del país (CATIE, 1983a). Dicha época seca, la canícula o veranillo de San Juan, puede tener consecuencias serias para la producción de cultivos anuales, especialmente

en el caso de maíz, que muchas veces está en su época de floración en este período, cuando la planta es especialmente susceptible a condiciones de sequía.

### Temperatura

Mateo *et al* (1981) notaron que el asocio de maíz y sorgo se encuentra en Honduras en alturas menores a los 1 000 m. Díaz Donaire (1982), también trabajando en ese país encontró que maíz + sorgo estaba localizado entre 0 y 750 m sobre el nivel del mar, y que muchas veces se añade frijol para formar un asocio de tres cultivos en alturas de 500 a 1 250 m. En la región pacífica de Centroamérica, una altitud de 500 m corresponde aproximadamente a una temperatura media anual de 24°C, y 1 000 m a 21°C. Esta relación entre el sistema y la temperatura se confirma en la Figura 2, que sugiere que la mayoría del maíz-sorgo en la región se encuentra en áreas de temperatura media 17-24°C, pero que en terrenos más bajos, aunque extensivos, las intensidades de siembra son aún más fuertes.

### Topografía

El sistema se encuentra más representado en regiones accidentadas que en las planicies. Este hecho sugiere que la topografía accidentada es más apropiada para los sistemas, o que los terrenos planos tienen otros usos. La segunda razón parece tener más peso: los cultivos mecanizados de mayor escala, como algodón o como sorgo híbrido, fueron cultivados en las llanuras, y los agricultores con cultivos de subsistencia se han desplazado hacia los cerros.

Otros estudios más locales en Guatemala y Nicaragua también indican que la proporción de tierra sembrada en pendiente es más alta que en terreno plano (De León *et al*, 1975; CATIE, 1983b). Es interesante notar que los mismos estudios muestran lo contrario con maíz sembrado solo, una situación también encontrada por Cutié (1975), quien reportó que los agricultores que siembran maíz asociado con sorgo tienden a estar en laderas y quienes siembran maíz puro en las planicies.

### Tipos de suelos

Las áreas de maíz-sorgo muestran en general suelos poco profundos, de baja retención de agua. Como ejemplo se presenta, en el Cuadro 4, la distribución de maíz-sorgo en Honduras según el tipo de suelo, mediante un análisis realizado con el CRIES. En ese país la mayoría del sistema se encuentra en los suelos Lithic Ustorthent, que cuenta con poco desarrollo de horizontes, y con una capa de roca 50 cm debajo de la superficie. Análisis semejantes para El Salvador localizan más del 50 % del área del sistema en suelos Lithic Haplustalf en terrenos montañosos.

Cuadro 4. Tipos de suelo en áreas del sistema maíz + sorgo. Honduras.

Clasificación	Area de suelo (km <sup>2</sup> )	Area del Sistema (km <sup>2</sup> )	% del sistema en tipo de suelo	% del suelo sem- brado al sistema
Lithic Ustorthent	23 384	424,1	72,0	1,8
Typic Ustorpept	8 936	66,5	11,3	0,7
Typic Hydraquent	3 185	28,3	4,8	0,9
Typic Ustifluent	1 427	17,5	3,0	1,2
Typic Dystrandept	3 462	17,0	2,9	0,5
Ustic Dystropept	2 788	12,1	2,1	0,4
Aeric Tropaquent	499	10,0	1,7	2,0
Lithic Haplustoll	10 093	5,3	0,9	0,1
Ultic Haplustalf	161	5,0	0,8	3,1
Lithic Dystropept	12 337	1,4	0,2	0,0
Otros	46 202	1,5	0,3	0,0

## MANEJO DEL SISTEMA MAIZ ASOCIADO CON SORGO

Para estudiar más a fondo el manejo dado por los agricultores al sistema de maíz asociado con sorgo y maíz asociado con frijol, se efectuó una encuesta en Honduras. El universo del estudio se consideró como aquella área del país donde la densidad de los sistemas de interés fuera mayor que 1 % (Fig. 1). Dentro de ese marco, fueron escogidos al azar coordinados geográficos, y se entrevistó a una muestra de cinco agricultores en el punto más cercano a los coordinados definidos. Inevitablemente, los sitios y fincas visitadas representaron una situación de transigencia entre una muestra realizada completamente al azar y la que era posible logísticamente. En total, fueron encuestadas 368 fincas: 173 con parcelas de maíz + frijol, 109 con maíz + sorgo y 85 con maíz + frijol + sorgo.

La encuesta se estructuró en dos partes, para incluir: a) características generales de la finca; b) características específicas de la parcela del sistema de cultivo. Ciertas características del sitio como elevación y pendiente fueron medidas directamente, así como el espaciamiento entre plantas, etc. Sin embargo, muchas variables del manejo dependieron de la respuesta verbal dada por el agricultor. Fueron recogidas muestras del suelo de cada parcela para su análisis posterior.

Una descripción más detallada de la metodología utilizada fue dada por Díaz Donaire (1982). La encuesta completa y una lista de las fincas encuestadas se encuentra en el Informe Final del Proyecto. En este Informe solo son considerados los resultados para el sistema maíz asociado con sorgo; los otros sistemas de cultivo están descritos en el Informe Final del Proyecto.

La mayoría de las fincas fueron pequeñas (60 % con menos de cuatro hectáreas), de dueño propio y que vendían poco o nada de su producción de maíz o sorgo. Alrededor de la mitad de los agricultores criaron ganado; la mayoría tuvieron cerdos y casi todos tuvieron aves.

De las parcelas de maíz y sorgo visitadas hubo pocas de tamaño mayor de tres hectáreas; el tamaño medio fue de 1,2 ha. Las medidas efectuadas en cada sitio indicaron que los cultivos se encontraban en pendientes entre 0 y 100 %, con la mayoría de las parcelas en terrenos de mayor inclinación a 10 %. Casi todos los sitios se consideraron diferentes en fósforo y zinc, y adecuados en cuanto a contenido de potasio.

Los sistemas de uso de la tierra varían entre los sistemas de rotación (unos años de labranza seguido por unos años de descanso) y los sistemas de labranza permanente. El número de años en uso de la parcela varió entre uno y más de 20, con un promedio modal de tres años. El 50 % de los agricultores declaró que no deja descansar su parcela, sino que la usa en forma continua; si usaban descanso, el promedio modal para ese período fue de tres años. Los períodos de descanso a través de toda la región fueron generalmente menores que los de 5 a 6 años reportados por

Dewalt y Dewalt (1982).

La mayoría de los agricultores contaba con herramientas de mano para efectuar la preparación de sus tierras y para la siembra; 68 % de la muestra total sembraba con chuzo y los demás sembraban en surcos abiertos por tracción animal.

Los aspectos de rotación, método de siembra y pendiente de la parcela fueron interrelacionados. En terrenos con inclinación mayor del 12 % la siembra se efectuaba con chuzo, mientras que en pendientes más suaves el 60 % de las parcelas estaban sembradas con el arado (Cuadro 5).

Cuadro 5. Método de siembra y rotación de la tierra, en pendiente, en el sistema maíz + sorgo. Honduras.

Pendiente	Método de siembra	Rotación	% de parcelas
0 - 12 %	Chuzo	Continuo	8
		Con descanso	13
	Arado	Continuo	27
		Con descanso	5
> 12 %	Chuzo	Continuo	15
		Con descanso	32
	Arado	Continuo	0
		Con descanso	0

(Datos tomados de una muestra de 109 fincas).

La razón de esta relación parece ser la reducción en la mano de obra requerida para limpiar los cultivos cuando se aporca con el arado: desde unos 40 a 50 días ha<sup>-1</sup> hasta 10 a 25 días ha<sup>-1</sup> (Hawkins, 1984). De acuerdo con los agricultores que limpiaban a mano, el esfuerzo necesario para esta actividad fue una razón principal para volver a dejar en descanso un terreno después de dos o tres años de siembra. Como consecuencia, el uso de tracción animal, impráctico en pendientes mayores, facilitaba el cultivo permanente de la parcela, y explica la relación entre uso de arado y rotación observada en el Cuadro 5.

No obstante, fue evidente que aun en la ladera existían parcelas de uso continuo. Esta situación refleja la presión demográfica cada vez más fuerte sobre la tierra; algunos agricultores lamentaban no poder dejar descansar su terreno, pero ex-

plicaban que no tenían alternativa.

Las fechas de siembra normalmente coinciden con el inicio de las lluvias de mayo. Las siembras en seco, antes del inicio de las lluvias, fueron consideradas como riesgosas por los agricultores, aunque se admitió hacerlo de vez en cuando en áreas donde la época lluviosa es relativamente corta, como en el sur del país. La época de cosecha de maíz fue muy variable, entre julio y enero, debido a la práctica (67 % de los agricultores) de doblar el maíz una vez maduro, y así dejar almacenadas las mazorcas en el campo hasta que sea conveniente cosecharlas.

La época de cosecha de sorgo fue mucho más definida, a finales de diciembre y en las primeras semanas de enero.

En 86 % de los casos observados, los dos cultivos de la asociación fueron sembrados simultáneamente; en 65 % de los casos las semillas de los dos cultivos fueron sembradas con el mismo golpe, en siembras con chuzo. Sembrar los dos cultivos simultáneamente al mismo golpe implica una reducción en el esfuerzo de abrir más hoyos (alrededor de dos jornales  $ha^{-1}$ ), aunque este arreglo puede aumentar la competencia entre los dos cultivos, disminuyendo así la sobrevivencia del maíz (Dewalt y Dewalt, 1982). Con arado, los dos cultivos son fácilmente sembrados en golpes alternos en el mismo surco en siembras simultáneas, o en surcos alternos cuando se aprovecha el aporque del maíz para sembrar el sorgo, reduciendo de ese modo la competencia del sorgo al maíz.

Aproximadamente 14 % de los agricultores utilizaron fertilizantes inorgánicos, 19 % herbicidas y 15 % insecticidas. Los rendimientos medios esperados, según los agricultores, fueron del orden de 500 a 750  $kg\ ha^{-1}$  para el maíz y 750 a 1 000  $kg\ ha^{-1}$  para el sorgo; alrededor de 5 % esperó rendimientos mayores de 2 000  $kg\ ha^{-1}$ .

## CONCLUSIONES

La caracterización del sistema maíz asociado con sorgo permitió definir el área de extrapolación potencial de tecnología desarrollada para este sistema. Dentro del marco del Proyecto de Sistemas de Producción para Pequeños Agricultores, por ejemplo, se desarrolló una alternativa del sistema de maíz y sorgo 'tradicional' para el área definida del municipio de Tejutla, El Salvador. El área del sistema de cultivo dentro del municipio que formó el dominio de recomendación era aproximadamente de 2 000 ha. Sin embargo, una consideración del área del sistema a nivel regional (alrededor de 233 000 ha), implica que la tecnología para maíz y sorgo desarrollada en Tejutla puede tener como área de aplicabilidad una extensión 100 veces mayor que el área originalmente definida.

La descripción del sistema maíz y sorgo también da una indicación de la representatividad del municipio de Tejutla si se lo compara con la extensión total de maíz y sorgo. La caracte-



rización de Tejutla (CATIE, 1984) describe las condiciones predominantes en esa área como de paisaje fisiográfico montañoso y con suelos litosoles, con régimen de lluvia de 1 700 a 1 850 mm anuales distribuidos durante 6 a 7 meses, y con temperaturas promedio anuales de 24 a 26°C. Una evaluación de las condiciones ambientales del sistema a nivel regional (Fig. 2) muestra que el municipio de Tejutla es bastante representativo de una gran parte de la región donde se siembra el sistema de maíz asociado con sorgo.

Existen diferencias en el manejo tradicional dado a los cultivos en los casos de Tejutla y Honduras; tales diferencias pueden haber resultado de las determinantes edafoclimáticas o de las determinantes socioeconómicas. Las diferencias en fechas de siembra relativa, por ejemplo (en Honduras la práctica más común es sembrar el maíz y el sorgo simultáneamente, mientras que en Tejutla se siembra el sorgo después del maíz), pueden deberse a la reducida precipitación de julio en Honduras comparado con Tejutla. Por otro lado, es probable que las diferencias en uso de fertilizantes y herbicidas entre Tejutla y Honduras sean debidas a las distintas circunstancias socioeconómicas (crédito, disponibilidad, conocimiento) de los agricultores en las diferentes áreas.

Las diferencias de manejo de un sistema tradicional entre áreas tienen implicaciones para el proceso de extrapolación. Donde haya diferencias por razones edafoclimáticas probablemente será necesario variar los factores de manejo de cualquier paquete tecnológico que se pretenda transferir. Donde haya diferencias en manejo por razones socioeconómicas, la producción potencial del paquete en sí no será afectada tanto como las posibilidades para su adopción. Sería necesario, en el caso de introducir la tecnología de Tejutla en Honduras, por ejemplo, investigar más a fondo las razones para el reducido uso de insumos agrícolas en este último país.

La información disponible sobre los principales sistemas de cultivo tradicionales en Centroamérica provee una base para el mejoramiento de esos sistemas en el futuro. Un conocimiento de las diferentes condiciones en que operan los agricultores facilitará saber cuál es la representatividad de los sitios experimentales y localizar experimentos que contribuyan a maximizar esta representatividad a nivel regional. Este tipo de investigación, a nivel regional, puede mejorar el enlace entre investigación por rubro o disciplina (muchas veces realizada en centros experimentales) y la investigación con enfoque de sistemas.

1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976  
1977  
1978  
1979  
1980  
1981  
1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025  
2026  
2027  
2028  
2029  
2030



**3**

**PREDICCIÓN DE LA PRODUCCIÓN  
DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO  
PARA EL SISTEMA MAÍZ ASOCIADO CON SORGO**





## EL USO DE MODELOS PARA PREDECIR PRODUCCION

Una forma de expresión del comportamiento de cultivos en función de su ambiente edafoclimático es el uso de modelos matemáticos. En general, han sido utilizados dos tipos de modelo: modelos dinámicos o de simulación, basados en una representación matemática de los mecanismos fisiológicos que determinan el desarrollo y el crecimiento, y modelos empíricos, que pueden consistir en una correlación múltiple entre el comportamiento del cultivo y los factores mensurables del ambiente. El uso de esos dos tipos de modelo ha sido reseñado por Penning de Vries (1983) y Baier (1977), respectivamente.

Los modelos de simulación muchas veces son bastante complejos y pueden depender de procesos que aun no son bien entendidos o cuantificados. Tal vez el mayor esfuerzo en vincular este tipo de modelo a un inventario de recursos naturales es el del Proyecto de Zonas Agroecológicas de la FAO (FAO, 1981), descrito anteriormente. Por la escasa precisión de los inventarios y modelos usados, sin embargo, los resultados de este estudio sirven sobre todo para definir la producción potencial de ciertos cultivos para macrorregiones, y no como método para definir dominios de recomendación para tecnologías específicas. Con modelos e inventarios de recursos cada vez más refinados, sin embargo, se puede suponer una mayor utilización del tipo de enfoque utilizado por el proyecto de la FAO.

Los modelos empíricos, con uso de técnicas de regresión, pueden constituirse utilizando datos experimentales de sitios o épocas diferentes, o datos estadísticos de producción de diferentes distritos o años. Los informes de modelos basados en datos estadísticos son más reportados en la literatura, debido sin duda a la disponibilidad de ese tipo de dato comparado con el esfuerzo necesario para manejar experimentos a través de sitios o años. Aunque los modelos empíricos no son los más adecuados para identificar causa y efecto, y resulta peligroso hacer inferencias por medio de ellos, a pesar de los límites de los datos, pueden representar el mejor instrumento de predicción cuando las variables ambientales que afectan la producción no son bien conocidas (Penning de Vries, 1983). Por esa razón, muchas veces han sido recomendados para predecir rendimientos y coadyuvar en la planificación regional (Baier, 1977). También se ha mencionado su utilidad para

estimar rendimientos probables, con base en un estudio de la probabilidad de ciertos eventos de precipitación (Lomas, 1973) y en la definición de áreas con igual rendimiento predicho (Hashemi, 1973).

#### LA TECNOLOGIA MODELADA

Con base en los factores resumidos arriba, se investigó más a fondo la posibilidad de utilizar modelos empíricos para predecir la producción de una tecnología dada, construidos sobre experimentos llevados a cabo a través del rango de condiciones edafoclimáticas dentro del área potencial para extrapolación. Para dar continuidad a los estudios de caracterización, fueron escogidas tecnologías desarrolladas como alternativas para agricultores que sembraban maíz y sorgo. Las tecnologías investigadas fueron desarrolladas en las áreas de Tejutla y Jocoro, en El Salvador; fueron incluidos cambios en el manejo del sistema de maíz y sorgo y se substituyó, asimismo, el componente sorgo por vigna. Los resultados completos de esos estudios, llevados a cabo durante 1982 y 1983, están contenidos en el Informe Final del Proyecto; sólo se describe aquí el modelaje de una de las tecnologías investigadas durante 1983, para ilustrar la metodología y tipo de resultado obtenido.

El paquete de recomendaciones aquí analizado consistió principalmente en la definición de las variedades de maíz (híbrido H9 de El Salvador) y sorgo (variedad 'criollo leche' de El Salvador), fecha relativa de siembra (la siembra del sorgo se efectuó 3-4 semanas después de la de maíz), el uso de fertilizante (200 kg ha<sup>-1</sup> de 20-20-0 aplicado diez días después de la siembra del maíz y 260 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amonio a los 35 días), y uso de insecticida (Volatón\* aplicado a la siembra del maíz). Resultó imposible estandarizar la preparación del terreno y combatir malezas en las fincas de agricultores, aunque estos aspectos de manejo fueron definidos en el paquete de recomendaciones originales.

#### DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS DE DATOS

Los datos aquí analizados procedieron de una serie de experimentos de bloques al azar sembrados en El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua durante 1983. Los datos de suelos de los sitios experimentales, sin embargo, solo estuvieron disponibles para El Salvador y Guatemala; el sorgo falló en tres sitios en Guatemala, dejando observaciones de 20 sitios en El Salvador, y

---

\* La mención de nombres comerciales no significa aval del producto por parte de las instituciones o autores (nota del editor).

diez sitios en Guatemala para análisis. Otros tratamientos (variedades, niveles de fertilizantes) fueron incluidos dentro del experimento, pero aquí sólo se analizan datos de las parcelas sembradas con la tecnología descrita arriba. Cuatro y en algunos casos tres repeticiones fueron sembradas en cada sitio, de acuerdo con la disponibilidad del terreno en cada finca. El tamaño de la parcela útil fue de 60 m<sup>2</sup>.

Las variables medidas en cada sitio incluyeron la precipitación diaria y las necesarias para clasificar los suelos hasta el nivel de familia, según la Taxonomía de Suelos (USDA, 1975). La altura sobre el nivel del mar y la inclinación de la parcela también fueron registradas.

El primer paso del análisis consistió en una regresión múltiple del rendimiento promedio por sitio sobre variables edafoclimáticas de los sitios que hipotéticamente fueron considerados relacionados. Las variables derivadas de la precipitación incluyeron cantidades por década y combinaciones de ellas. Otras variables del sitio incluyeron profundidad de suelo, densidad aparente (a 20 cm), porcentajes de arena y arcilla y materia orgánica, pH, niveles de potasio, calcio, magnesio y fósforo, pendiente y elevación.

Las variables de sitio que podían explicar interacciones entre los cultivos y el sitio fueron identificadas mediante el programa de SAS conocido como RSQUARE, que compara los coeficientes de regresión para todas las combinaciones posibles de las variables independientes (con límite de cinco variables). Ese procedimiento se siguió tanto para los componentes individuales del asocio del maíz y sorgo, como para el rendimiento combinado; este último se calculó utilizando un factor de ponderación de 0,79 para el componente sorgo, que reflejó el valor del producto de sorgo con relación al maíz.

Para determinar con más precisión la habilidad de predicción de los diferentes modelos identificados por el programa RSQUARE, se utilizó el análisis de transferencia descrito por Cady *et al* (1982).

La forma más sencilla de este análisis consiste en la comparación del rendimiento promedio de las parcelas en cada sitio con el valor predicho por la regresión basado en datos de los otros (n-1) sitios. La base de comparación es el valor estadístico de P; este valor equivale a la suma de cuadrados para los sitios individuales (el error), correspondiente a la suma de los 'cuadrados de transferencia' que ha sido calculada a partir del valor pronosticado en vez del promedio de los valores medidos. En el caso ideal, el valor de P es igual a 1,0; los valores más altos debido al azar solamente serían cada vez menos probables. La distribución del índice de P ha sido descrito por Wood y Cady (1981).

## RESULTADOS

Los rendimientos de maíz y sorgo son presentados en el Cuadro 6, junto con los coeficientes de variación para cada cultivo en cada sitio. El rendimiento del maíz varió desde menos de 1 000 kg ha<sup>-1</sup> hasta más de 5 500 kg ha<sup>-1</sup>, y el sorgo desde 250 kg ha<sup>-1</sup> hasta 2 000 kg ha<sup>-1</sup>. El rendimiento combinado (rendimiento del maíz + 0,79 x rendimiento del sorgo) varió de 1 279 kg ha<sup>-1</sup> hasta 6 485 kg ha<sup>-1</sup>. Es interesante señalar que los rendimientos de maíz y de sorgo no fueron significativamente correlacionados ( $r = 0,260$ ); ello sugiere que los factores ambientales que determinan el rendimiento fueron distintos para los dos cultivos.

Los resultados del análisis de RSQUARE se han volcado en el Cuadro 7. Con cinco variables fueron obtenidos valores de  $r^2$  hasta 0,80, 0,59 y 0,82 para maíz, sorgo y el rendimiento combinado. Un 50 % de la variación en rendimiento de maíz podría explicarse sólo por el factor profundidad del suelo y el 74 % del rendimiento combinado por la adición del factor de densidad aparente. El rendimiento de sorgo fue menos relacionado con las variables independientes que el del maíz; fueron importantes los factores de textura, profundidad y densidad aparente del suelo.

El cálculo del índice P mostró que el mejor modelo para predecir rendimientos fue una combinación de las variables profundidad de suelo, densidad aparente de suelo, precipitación durante la floración del maíz y nivel de potasio en el suelo (ver Cuadro 8). El valor de  $P = 2,11$ , calculado para este modelo, es más alto que lo esperado en la significación, pues es menos que 0,01; sin embargo, la Figura 3 muestra que los rendimientos predichos por sitio y por regresión están relativamente de acuerdo. La inclusión de una quinta variable redujo la capacidad del modelo para predecir el rendimiento, aunque el valor de  $r^2$  del modelo con cinco variables fue ligeramente mayor. También han sido incluidos en el Cuadro 8 los valores de significación de las variables; en modelos construidos con 1-4 variables independientes, éstas generalmente fueron significativas, pero en ningún caso fue significativa la quinta variable al nivel del 15 %.

## CONCLUSIONES

Si se acepta la suposición de que los sitios experimentales son una muestra representativa de las condiciones edafoclimáticas que existen a través de la extensión del sistema de cultivo maíz asociado con sorgo en Centroamérica, los resultados demuestran la factibilidad de predecir rendimientos con base en las características físicas de un sitio dado. Como se señaló anteriormente, las relaciones expresadas por los modelos no implican necesariamente causa y efecto. Muchas de las variables utilizadas en la regresión fueron correlacionadas, incluyendo las si-



Cuadro 6. Localización y rendimiento de experimentos de maíz y sorgo asociados.

Localización		Rendimiento maíz (kg ha <sup>-1</sup> ) CV (%)	Rendimiento sorgo (kg ha <sup>-1</sup> ) CV (%)	Rendimiento com- binado (kg ha <sup>-1</sup> CV (%) maíz eq*)
Lat.	Long.			
<b>Guatemala</b>				
1	14°21' 89°48'	2 714	1 283	3 723
2	14 19 89 52	1 659	1 387	2 750
3	14 15 90 00	5 417	1 359	6 485
4	14 15 90 01	1 582	1 647	2 876
5	14 12 90 08	3 369	497	3 590
6	14 22 89 44	2 159	1 357	3 226
7	14 21 89 43	3 183	1 635	4 469
8	14 08 90 08	4 937	1 402	6 040
9	14 09 90 09	5 513	962	6 241
10	14 17 89 59	3 712	631	4 209
<b>El Salvador</b>				
11	13°45' 89°51'	3 843	1 820	5 273
12	14 00 89 19	4 047	1 489	5 217
13	13 45 89 51	3 608	2 000	5 180
14	13 45 89 51	2 148	809	2 783
15	13 45 89 51	4 052	1 976	5 606
16	13 46 89 51	3 431	1 900	4 924
17	13 46 89 51	3 900	978	4 669
18	13 46 89 51	3 409	1 740	4 776
19	14 07 89 19	3 377	1 988	4 939
20	14 00 89 19	2 944	1 332	3 990
21	14 00 89 19	2 314	1 197	3 855
22	14 00 89 19	2 405	752	2 996
23	14 07 89 19	3 912	1 030	4 721
24	14 00 89 19	4 140	1 789	5 546
25	13 29 89 00	1 844	533	2 263
26	13 29 88 59	2 976	938	3 713
27	13 36 88 03	758	1 303	1 786
28	13 36 88 03	1 331	1 513	2 521
29	13 37 88 01	925	945	1 668
30	13 37 88 01	1 080	253	1 279
X		3 043	1 280	4 044
CV		41,4	37,6	34,8

\*Rendimiento combinado calculado como rendimiento de maíz + (0.786 x rendimiento de sorgo)

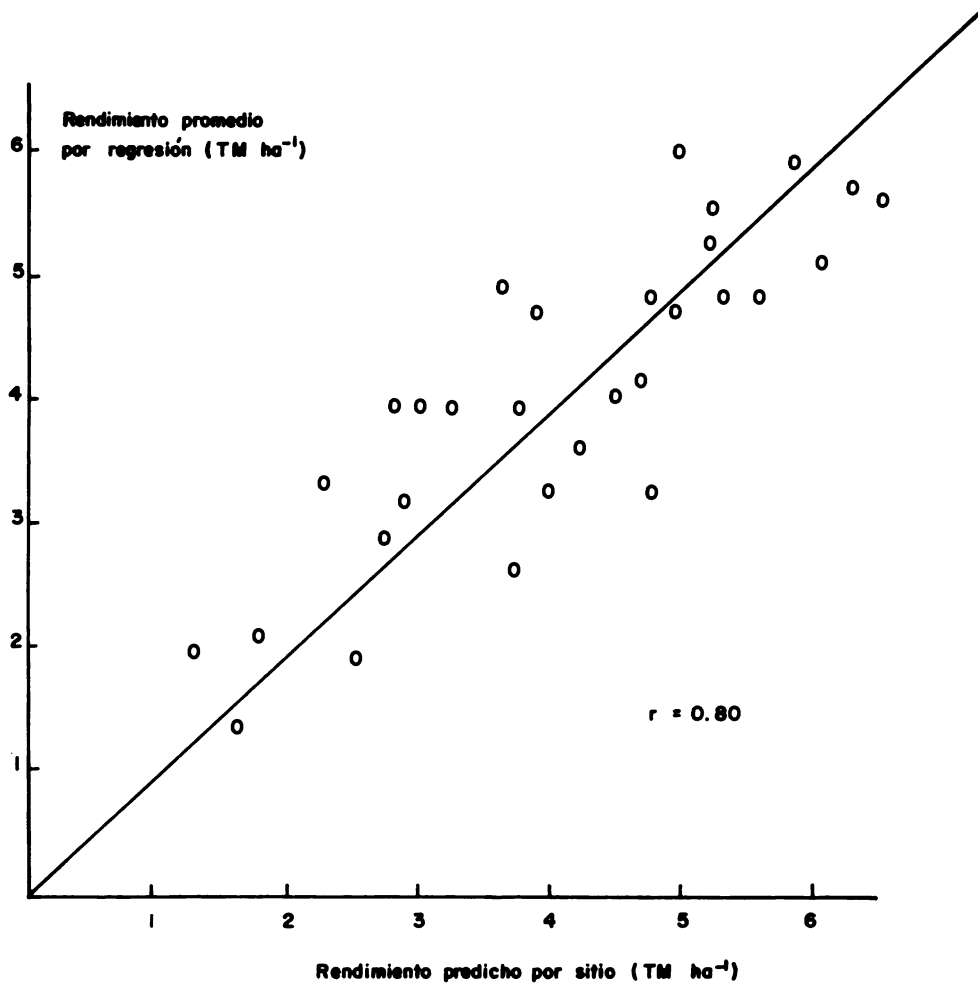


Figura 3. Comparación de rendimiento predicho por sitio y por regresión .

Cuadro 7. Modelos de regresión de maíz, sorgo y asocio.

Número de variables en modelo	MAIZ		SORGO		COMBINADO	
	Variables	r <sup>2</sup>	Variables	r <sup>2</sup>	Variables	r <sup>2</sup>
1	MG	0,225	DEP	0,141	RFL	0,247
1	BUL	0,265	RTO	0,163	BUL	0,278
1	DEP	0,505	SAN	0,215	DEP	0,538
2	DEP PH	0,589	BUL SAN	0,296	DEP PH	0,597
2	DEP K	0,629	SAN CA	0,389	DEP K	0,598
2	DEP BUL	0,701	DEP SAN	0,391	DEP BUL	0,743
3	DEP BUL PH	0,731	BUL SAN CA	0,440	DEP BUL MG	0,759
3	DEP BUL MG	0,731	DEP BUL SAN	0,450	DEP BUL K	0,760
3	DEP BUL K	0,760	DEP SAN CA	0,477	DEP BUL RFL	0,778
4	DEP BUL MG CA	0,771	DEP SAN CA ORG	0,505	DEP BUL RFL PH	0,795
4	DEP BUL MG K	0,779	DEP BUL SAN CA	0,522	DEP BUL RFL K	0,803
4	DEP BUL RFL K	0,791	DEP SAN MG CA	0,553	DEP BUL SAN K	0,805
5	DEP BUL RFL MG K	0,797	DEP SLO SAN MG CA	0,561	DEP SLO BUL RFL K	0,811
5	DEP BUL RFL PH K	0,799	DEP SAN MG CA K	0,569	DEP BUL SAN MG K	0,817
5	DEP BUL MG CA K	0,802	DEP BUL SAN MG CA	0,588	DEP BUL SAN PH K	0,817

Identificación de Variables:

- DEP, BUL PH Profundidad de suelo, densidad aparente y pH respectivamente.
- K, MG, CA Contenido de potasio, magnesio y calcio respectivamente.
- ORG, SAN Materia orgánica y porcentaje de área.
- RFL Precipitación durante período 20 días antes hasta 10 días después de la floración del maíz.
- RTO Precipitación durante período junio-diciembre.
- SLO Pendiente máxima de la parcela.

güentes: precipitación durante la floración del maíz con profundidad de suelo ( $r = 0,49$ ) y porcentaje de arena ( $r = -0,54$ ); densidad aparente con altitud ( $r = 0,44$ ); porcentaje de arena con nivel de potasio ( $r = 0,55$ ); precipitación durante toda la estación lluviosa con contenido de magnesio ( $r = 0,44$ ). Estas correlaciones no quitan la validez a los modelos como herramientas de predicción, siempre que reflejen las condiciones dentro del área.

Algunas de las variables significativas en los modelos de rendimiento del maíz y sorgo están relacionadas con la disponibilidad de agua. Utilizando datos diarios de precipitación, y las variables ya mencionadas, fue posible calcular un balance hídrico; el uso de esta variable derivada para el período 50-60 días después de la siembra de maíz mejoró ligeramente el modelo de maíz. No obstante, el uso de un modelo para definir la producción potencial de una área dada depende de la disponibilidad de información que pueda usarse como entrada al modelo. En ese sentido, el uso de variables sencillas como la precipitación resulta más práctico que las variables derivadas, como el balance hídrico.

Cuadro 8. Capacidad de predicción de los modelos del asocio maíz-sorgo.

Modelo	$r^2$	P
DEP**	0,538	3 156
DEP** BUL**	0,743	2 317
DEP** BUL** RFL*	0,778	2 189
DEP** BUL** RFL* PH	0,795	2 139
DEP** BUL** RFL* K*	0,803	2 109
DEP** BUL** SAN* K*	0,805	2 143
DEP** BUL** SAN* K* PH	0,817	2 172

\* Significativo a  $P \leq 0,1$

\*\* Significativo a  $P \leq 0,01$

**UNA METODOLOGIA PARA EXTRAPOLAR  
TECNOLOGIA AGRICOLA EN CENTROAMERICA**





## SINTESIS DE LA METODOLOGIA

### Estudios de caracterización

El mejoramiento de sistemas tradicionales de producción difícilmente se logra sin una apreciación de esos mismos sistemas. Este concepto es uno de los fundamentos básicos de la investigación en sistemas de producción agrícola desarrollada en años recientes. Los estudios de caracterización llevados a cabo por el Proyecto identificaron los principales sistemas de producción tradicionales en el istmo y describieron su localización geográfica, ambiente edafoclimático y manejo tradicional. Esos estudios sirven como base para establecer prioridades en la investigación agrícola, diseñar alternativas tecnológicas, escoger sitios o áreas experimentales representativos para la investigación y definir áreas de posible extrapolación de la tecnología desarrollada.

### Construcción de modelos de producción

Hasta la fecha, los diferentes modelos que fueron utilizados en estudios de zonificación para cultivos en Centroamérica han sido de tipo cualitativo. Los resultados de esos estudios habitualmente han sido mapas de aptitud para un cultivo dado, con expresiones como 'alto potencial', 'bajo potencial', etc. Las zonificaciones de ese tipo pueden aumentar la probabilidad de éxito con que se introduce una innovación técnica (p. ej. un nuevo cultivo) o nuevas áreas; pueden ser consideradas como un mecanismo para extrapolación según la definición amplia del término de Uehara (1981).

Los resultados descritos en este Informe han demostrado la posibilidad de predecir, con un grado de precisión cuantificado, la producción de una tecnología definida con base en variables edafoclimáticas. Sin embargo, la capacidad de predicción no es el único criterio que determina la utilidad de un modelo para definir áreas homogéneas para la extrapolación de tecnología. Un modelo sencillo basado en pocas variables o en variables descritas a nivel regional es preferible, obviamente, a un modelo más complejo o basado en información no disponible. Así, puede ser más práctico, por ejemplo, utilizar un modelo que incluye

como variable la lluvia en determinada época que el balance hídrico, que requeriría su cálculo. El proceso descrito en este Informe, de construcción de modelos alternativos, y la comparación de éstos a través del análisis de transferencia, facilita la selección del modelo más apropiado a la disponibilidad de información regional.

Lo que existe, entonces, es un amplio espectro de precisión con el cual se puede modelar con propósitos de transferencia de tecnología. Por una parte, los modelos cualitativos, basados en datos secundarios, pueden ser apropiados allí donde la experimentación es poco factible; en el caso de cultivos perennes o forestales, por ejemplo. Por otro lado, cuando la experimentación es posible, como en el caso de los cultivos anuales, el desarrollo de modelos cuantitativos puede conducir a una zonificación mucho más precisa, basada en rendimientos predichos.

El grado de precisión del modelo afectará el tipo de transferencia, que puede darse entre investigadores (transferencia horizontal), o desde el investigador al agricultor a través de un extensionista (transferencia vertical). En aquellos casos en que el modelo es más cualitativo, la tecnología puede requerir refinamiento y/o prueba extensiva en las áreas secundarias, antes de ser recomendada a los agricultores del área. En esos casos, la información transferida ayuda principalmente a enfocar las investigaciones involucradas en el desarrollo de tecnología.

En aquellos casos en los que se requiere transferir la tecnología directamente a agricultores, sin más experimentación adaptativa en el área, se requiere un modelo más preciso y cuantitativo, que pueda predecir la producción con un grado aceptable de precisión. En el estado actual de técnicas de modelación simultánea, esa precisión sólo se puede obtener a través de un proceso de experimentación específico para cada tecnología, como el descrito en este Informe. Además, el modelo desarrollado tiene que basarse en factores edafoclimáticos que son cuantificados en cada sitio o área de transferencia potencial.

### Zonificación de la bondad tecnológica

Cualquiera que sea el tipo de modelo utilizado para describir las condiciones en que funciona una tecnología, el área de extrapolación o dominio de recomendación puede apreciarse más fácilmente en forma cartográfica. La producción de mapas que delimitan zonas aptas o la producción esperada de la tecnología, podría ser un medio muy efectivo de transferir información, tanto a investigadores como a extensionistas y agricultores.

La formulación y preparación de mapas puede facilitarse en gran parte a través de sistemas computarizados que manejan información cartográfica. Si el modelo de producción o aptitud de la tecnología está basado en factores edafoclimáticos que comprenden un banco de datos regionales, será posible superponer la información de tal manera que conforme una zonificación espe-



cífica a la tecnología.

En Centroamérica se ha utilizado el sistema CRIES para este propósito, aunque con modelos cualitativos. Un ejemplo muy sencillo es la zonificación de aptitud para especies leñosas, construido con mapas ecológicos y mapas de número de meses secos (Dulin, 1984). La Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables (SEPSA) también está utilizando el sistema CRIES en forma semejante, como herramienta para la zonificación de cultivos y la planificación agrícola de Costa Rica.

La facilidad con que se puede manipular información geográfica con computadoras modernas plantea la posibilidad de producir mapas para tecnologías específicas, cuando existen modelos de producción e inventarios de recursos naturales apropiados. En el caso del maíz y sorgo descrito, el modelo podría basarse en los factores de profundidad y densidad aparente del suelo, y la lluvia probable durante la época de floración. Para desarrollar una zonificación basada en ese modelo, sería necesario incorporar mapas con información cuantificada de esos tres factores y calcular la producción predicha para cada combinación o unidad de mapeo. El producto de ese proceso sería un mapa de la producción esperada, que mostrara aquellas áreas donde la tecnología pueda recomendarse, y aquellas en que debería desarrollarse alguna otra tecnología.

## FACTIBILIDAD

### Redes de investigación

Como se mencionó anteriormente, los modelos empíricos tienen validez siempre que las condiciones edafoclimáticas de los sitios experimentales sean una muestra representativa del área a la cual se requiere transferir. Durante el primer año de experimentación (1982) se intentó establecer al azar sitios experimentales en fincas del área de maíz y sorgo, identificados a través de datos de censos agropecuarios (Fig. 1), pero ello resultó difícil por razones de acceso y manejo. En el segundo año, los experimentos fueron localizados de tal forma que se facilitara la operación de la red experimental, pero siempre con el objetivo de escoger sitios representativos del rango de las condiciones ambientales, en toda la extensión del sistema de cultivo.

Obviamente, el establecimiento de una red experimental con el propósito de identificar el área de extrapolación para cada tecnología resultaría muy costoso. Para estudiar la estabilidad y respuesta de diferentes tecnologías a las distintas condiciones del Istmo Centroamericano en el futuro, podría ser más factible crear una red de sitios experimentales con carácter más permanente. Una red de ese tipo, con suelos debidamente caracterizados y registros de las variables de clima más importantes,

podría facilitar en gran medida las investigaciones de proyectos (introducción de germoplasma, fertilización, etc) en la región. Además, las características detectadas según la Taxonomía de Suelos permitirían el intercambio de información a nivel mundial, a través de bancos de datos como el propuesto por otros proyectos con rasgos similares. El número y localización de los 'mini centros' experimentales estaría por determinarse, pero estudios de cultivos y condiciones ambientales como los descritos en este Informe pueden brindar los elementos básicos para escoger los sitios con representatividad a nivel regional.

### Información edafoclimática disponible en Centroamérica

La disponibilidad actual de información edáfica y climática en la región es limitada. No existe ninguna institución que tenga como responsabilidad mantener un banco de información de esa índole. La calidad, igual que la disponibilidad de esa información, refleja descoordinación entre instituciones que tienen objetivos comunes y pone en evidencia la falta de conocimiento del uso potencial de la información.

Un aspecto específico que merece ser destacado es la falta de un manejo adecuado de la información sobre precipitación. El conocimiento de las probabilidades de ciertos eventos (sequías o excesos), o de las cantidades de precipitación en determinadas épocas, es imprescindible para la programación agrícola y para la determinación de la representatividad de experimentos bajo condiciones observadas, especialmente en el caso de los cultivos anuales. Como ejemplo del uso potencial de una información más completa sobre precipitación se puede citar el caso del modelo de maíz descrito anteriormente, en el cual la precipitación probable durante la época de floración puede ser una de las variables claves para predecir el rendimiento.

Para hacer análisis probabilísticos de precipitación es preciso disponer de datos diarios de lluvia. Sin embargo, la recopilación de datos de lluvia en algunos de los países de la región sigue siendo una actividad poco coordinada entre diferentes instituciones, poco actualizada y poco tecnificada. En años recientes han sido hechos esfuerzos aislados para computerizar datos de precipitación diaria en varios de los países (Costa Rica, El Salvador y Nicaragua), pero no existe todavía ningún banco de datos a nivel regional.

Para el mapeo de la producción de tecnologías específicas también resulta fundamental la uniformidad de medidas, caracterizando los suelos del sitio experimental de acuerdo con las descripciones de los perfiles que normalmente acompañan los mapas edafológicos. Los factores de suelo que fueron relacionados con el rendimiento del maíz y el sorgo en el caso estudiado (profundidad, densidad aparente) están cuantificados para clasificar suelos a nivel de familia según la Taxonomía de Suelos.

Si otras tecnologías responden a factores semejantes, la clasificación a nivel de familia podría constituir la base para su extrapolación. El uso de modelos basados en un número relativamente bajo de factores de suelo implica que todas las unidades de mapeo podrán ser clasificadas de acuerdo con la producción, y que la transferencia de tecnología no estaría limitada a suelos de la misma familia.

En Centroamérica la información actual de suelos es poco compatible entre los países, debido a los diferentes criterios de los sistemas de clasificación utilizados. Para ciertas regiones de algunos países, como el sur y parte central de Honduras y las planicies de la vertiente pacífica de Nicaragua, existen mapas de suelos ordenados según la clasificación Taxonomía de Suelos (USDA, 1975), a nivel de familia. En las otras áreas de esos países, y también en Costa Rica y El Salvador, existen mapas de suelos o asociaciones de suelos a nivel de sub-grupo, hechos por reconocimiento o por compilaciones de mapas anteriores. En Guatemala, la única información extensiva es el reconocimiento hecho por Simmons en 1959, basado en el sistema utilizado en aquella época por la Oficina de Clasificación de Suelos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos de América, difícil de relacionar con sistemas más recientes.

En el caso de la tecnología del maíz y sorgo estudiada, la zonificación de producción con base en los modelos desarrollados no es posible con la información de clima y suelos existentes actualmente. Existe la necesidad, en consecuencia, de mejorar la base de información de recursos naturales en el Istmo, antes de que sea posible definir el área de extrapolación de paquetes tecnológicos como los investigados aquí. La formación de bancos computarizados de información edafoclimática y la implementación de un sistema apropiado para su manejo deberían ser prioritarios en la región. Tal información sistematizada podría asegurar el uso más eficiente de la investigación agropecuaria, acelerar la transferencia de sus productos y optimizar la planificación en cuanto al uso de la tierra, beneficiando así a todos los habitantes de la región.



## **BIBLIOGRAFIA**



## BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, E. y L.O. WILLIAMS. Maize and sorghum as a mixed crop in Honduras. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 1954. 41:213-15.
- BAIER, W. Crop weather models and their use in yield assessments. W.M.O. Technical Note No. 151 Geneva, Switzerland. 1977. s. p.
- BEINROTH, F.H., UEHARA, G., SILVA, J.A., ARNOLD, R.W. y CADY, F.B. Agrotechnology transfer in the tropics based on Soil Taxonomy Advances in Agronomy, 33:303-339. 1980.
- BURGOS, J.J. World trends in agroclimatic surveys. In: *Agroclimatological Methods*. UNESCO, Paris. 1968. pp. 211-224.
- CADY, F.B., CHAN, C.P., GARVER, C.L., SILVA, J.A. y WOOD, C.L. Quantitative evaluation of agrotechnology transfer: a methodology using maize response to phosphorus on hydric dystrandepts in the Benchmark Soils Project (Benchmark Soils Project Technical Report (No. 6), Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources. Hawaii. 1982. 31 p.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE). Proyecto Cultivos Resistentes a Sequía (Fase I). CATIE, Turrialba, Costa Rica 1983a. p. irr.
- \_\_\_\_\_. Caracterización del área, las fincas y sistemas de cultivos practicados por los pequeños agricultores de Estelí, Managua. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1983b. 129 p.
- \_\_\_\_\_. Caracterización del área, las fincas y sistemas de cultivos practicados por los pequeños agricultores de Estelí, Nicaragua. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1984. 129 p.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). Annual Report 1978. CIAT, Cali, Colombia. 1979. p. irr.
- CHANG, J.H. A climatological consideration of the transference of agricultural technology. *Agricultural Meteorology*, 25:1-13. 1981.
- CUTIE, T.J. Diffusion of hybrid corn technology: The case of El Salvador - Abridged by CYMMIT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) México. 1975. 24 p.
- DE LEON PRERA, C., J.T. WYLD y P.E. HILDEBRAND. Alcance geográfico de los sistemas de cultivo en el área piloto de ICTA. Región VI. 1975. Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola, Guatemala. 1977. 19 p.

- DENT, D. y YOUNG, A. Soil survey and land evaluation, Allen and Unwin, London, U.K. 1981. 278 p.
- DeWALT, B.R y K.M., DeWALT. Farming systems research in Southern Honduras. INTSORMIL Report No. 1. Department of Anthropology, University of Kentucky, Lexington. 1982. 83 p.
- DIAZ DONAIRE, R.E. Caracterización y relaciones ambiente-manejo en sistemas de frijol y sorgo asociados con maíz en Honduras. M.S. Thesis. Universidad de Costa Rica. 1982. 118 p.
- DULIN, P. Areas climáticas análogas para especies productoras de leña en dos países centroamericanos CATIE. Turrialba, Costa Rica. 1984. 41 p.
- EL SALVADOR. Anuario de estadísticas agropecuarias 1981-82. Ministerio de Economía, San Salvador, El Salvador. 1982. p. irr.
- \_\_\_\_\_. Tercer Censo Nacional Agropecuario. Vol. II. 1971. Ministerio de Economía, San Salvador, El Salvador. 1974. 509 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Report on the Agro-ecological Zones Project. Vol. III. Methodology and results for South and Central America. World Soil Resources Report 48/3, FAO, Rome. 1981. 251 p.
- GARRO, A. Desarrollo de sistema de información geográfica del Istmo Centroamericano. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. 1982. 79 p.
- GUATEMALA. Censo Agropecuario 1964. Vol. II. Ministerio de Economía, Guatemala. 1969. 774 p.
- \_\_\_\_\_. Censo Agropecuario 1979. Ministerio de Economía, Guatemala. 1983. p. irr.
- HANCOCK, J.K., HILL, R.W. y HARGREAVES, G.H. Precipitation probabilities, climate and agricultural potential for El Salvador, Utah State University. Logan, Utah. 1978. p. irr.
- HARGREAVES, G.H. Irrigation requirements and precipitation deficits for Guatemala. Utah State University. Logan, Utah. 1975. p. irr.
- \_\_\_\_\_. Monthly precipitation probabilities for moisture availability for Honduras. Utah State University. Logan, Utah. 1976. p. irr.



- HARGREAVES, G.H. y HANCOCK, J.K. Monthly precipitation probabilities, climate and agricultural potential for Nicaragua. Utah State University. Logan, Utah. 1978. p. irr.
- HASHEMI, F. Predicting the wheat yield of Iran with weather data. Iranian Meteorological Department Doc. No. 603.2525. 1973. 38 p.
- HAWKINS, R. Intercropping maize with sorghum in Central America: A Cropping system case study. Agricultural Systems 15: 79-99. 1984.
- HAYAMI, Y. y RUTTAN, V.W. Agricultural development: an international perspective. John Hopkins Press, Baltimore, Maryland. 1971. 367 p.
- HONDURAS. Censo Nacional Agropecuario 1974. Ministerio de Economía, Tegucigalpa, Honduras. 1978. p. irr.
- \_\_\_\_\_. Encuesta de pronóstico de cosechas de granos básicos; año agrícola 1980-81. Ministerio de Economía, Tegucigalpa, Honduras. 1981. p. irr.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). Annual Report. 1977. IRRI. Los Baños, Filipinas. 1978. p. irr.
- \_\_\_\_\_. Annual Report 1978. IRRI. Los Baños, Filipinas. 1979. p. irr.
- KRISHNAN, A. Agroclimatic classification methods and their application to India In: ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). Climatic classification: a consultants meeting 14-16 April 1980, ICRISAT, Patancheru, India. 1980. pp 59-88.
- LOMAS, H. Forecasting wheat yields from rainfall data in Iran (2nd Progress Report); State of Israel Meteorological Service. 1973. p. irr.
- MATEO, N., A. DIAZ y R. NOLASCO. El sistema maíz y maicillo en Honduras. En: XXVII Reunión Anual del PCCMCA, 23-28 marzo, Santo Domingo, República Dominicana. 1981.
- NICARAGUA. Censo Agropecuario 1963. Ministerio de Economía, Managua, Nicaragua. 1967. p. irr.
- \_\_\_\_\_. Investigación de la actividad agropecuaria, rama granos básicos. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Managua, Nicaragua. 1982. 53 p.
- \_\_\_\_\_. Investigación de la actividad agropecuaria, rama granos básicos. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Managua, Nicaragua. 1983. 49 p.

- NIX, H. Agroclimatic analogues in transfer of technology. In: ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). Proceedings of the International Symposium and Development and Transfer of Technology for the SAT Farmer. 28 Aug. 1 Sep. 1979, ICRISAT, Patancheru, India. 1980. pp. 83-88.
- NUTTENSON, M.Y. Ecological crop geography of the Ukraine and agroclimatic analogues in North America. Institute for Crop Ecology, Washington, U.S.A. 1947. 24 p.
- PENNING DE VRIES, P.W.T. Modeling of growth and production. In: Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B. y ZIEGLER, H. (Editors), Physiological Plant Ecology IV. Springer-Verlag. Berlin. 1983. pp. 118-150.
- PERRIN, R.K., WINKELMANN, D.L., MOSCARDI, E.R. y ANDERSON, J.R. From agronomic data to farmer recommendations: an economics training manual. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Mexico, 1976. 51 p.
- REDDY, S.J. Agroclimatic classification of the semi-arid tropics 1: a method for the computation of classificatory variables. Agricultural Meteorology 30: 185-200. 1983.
- RUSSELL, J.S. Classification of climate and the potential usefulness of pattern-analysis techniques in agroclimatology research. In: ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). Proceedings of the International Workshop of Agroclimatological Research Needs of the Semi-Arid Tropics. 2-24 Nov. 1978. ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh, India. 1980. pp. 75-87.
- SHANER, W.W., PHILIPP, P.E. y SCHMEHL, W.R. Farming systems research and development: Guidelines for developing countries. Westview Press, Colorado. 1982. 414 p.
- SWINDALE, L.L. Problems and concepts of agrotechnology transfer within the tropics. In: ICRISAT. Proceeding of the International Symposium on Development and Transfer of Technology for Rainfed Agriculture and the SAT farmer. ICRISAT. Patancheru, India. 1980. pp. 73-82.
- UEHARA, G. Agrotechnology transfer. McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology New York. McGraw-Hill. 1981. pp. 80-82.
- UNITE STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys Agriculture Handbook 436. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 1975. 754 p.

UNITE STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). CRIES Report, July 1980. USDA Economics, Statistics and Cooperative Service, East Lansing, Michigan, USA. p. irr.

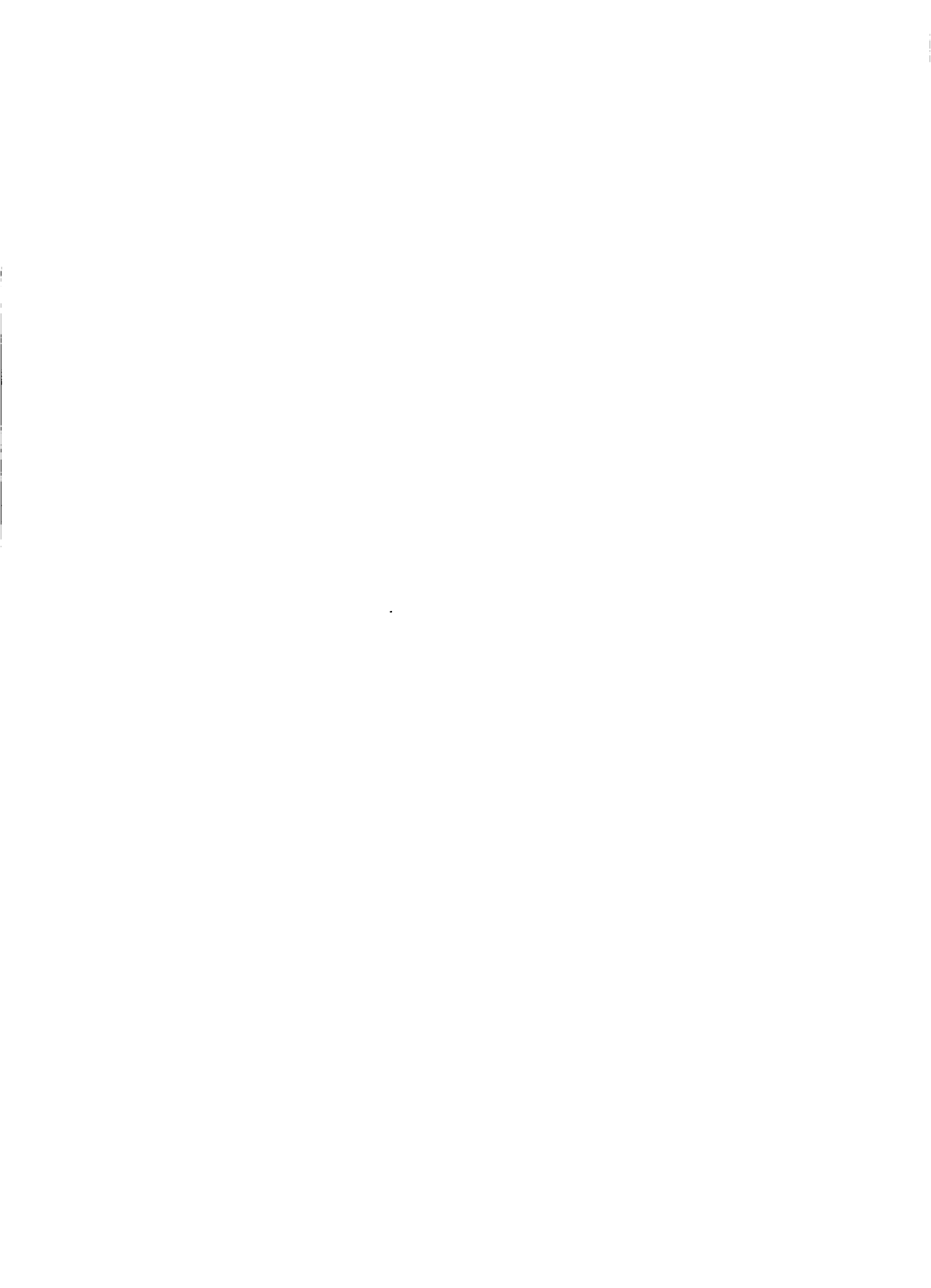
VIRMANI, S.M. Climatic approach to transfer of farming systems technology in the semi-arid tropics. In: ICRISAT, Proceedings of the International Symposium on Development and Transfer of Technology for Rainfed Agriculture and the SAT farmers. ICRISAT. Patancheru, India. 1980. pp. 93-102.

\_\_\_\_\_, SIVAKUMAR, M.V.K. y REDDY, S.J. Climatic classification of semi-arid tropics in relation to farming systems research. In: ICRISAT Climatic classification: A Consultants Meeting. ICRISAT, Patancheru, India. 1980. pp. 27-44.

WOOD, C.L. y CADY, F.B. Intersite transfer of estimated response surfaces. Biometrics. 37. 1981. p. 1-10.

ZANDSTRA, H.G., PRICE, E.C., LITSINGER, J.A. y MORRIS, R.A. A methodology for on-farm cropping systems research. IRRI, Los Baños, Philippines. 1981. 149 p.









**EDITOR**

Tomás Saraví A.

**EDITOR ASISTENTE**

Ely Rodríguez A.

**MECANOGRAFIA**

Rose Mary Garro Z.

**DIBUJOS**

Andrés Núñez P.

**ARTES Y DISEÑO**

Héctor Chavarría M.

**MONTAJE E IMPRESION**

Litografía e Imprenta GRAFO PRINT S.A.

**PUBLICACION DEL CATIE**

Edición de 250 ejemplares

Turrialba, Costa Rica, Noviembre de 1985





CATIE

74321

ST

IT-63 CARACTERIZACION DEL SISTE-

Autor

MA MAIZ ASOCIADO CON SORGO

Título

: METODOLOGIA PARA ...

Fecha  
Devolución

Nombre del solicitante

MAY 19 1986

OCT 4 1986

*Francisco J. Jarama*

74321



**Departamento de Producción Vegetal**