

ADMINISTRACIÓN

CATIE  
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales

INVESTIGACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

EN CULTIVOS ANUALES

✓  
Carlos F. Burgos

Documento preparado para su presentación en el Seminario de Producción en Cultivos Anuales. CENTA, San Andrés, El Salvador. Enero 30 - febrero 2, 1978

Turrialba, Costa Rica

1978

## INVESTIGACION DE SISTEMAS DE PRODUCCION

### EN CULTIVOS ANUALES\*

Carlos F. Burgos\*\*

#### INTRODUCCION

El enfoque de sistemas en la investigación agrícola ha despertado interés porque considera el todo y no se concentra en una parte de este todo. Esta manera de ver las cosas permite orientar la investigación hacia la generación de información que es más útil y aceptable para el hombre que hará uso de ella.

Una de las definiciones de sistema es: Sistema es un arreglo de componentes físicos o una colección de cosas, conectadas o relacionadas de tal manera que forman y/o actúan como una unidad. Esta definición implica que el sistema más simple tiene sólo dos componentes. Si el sistema no interacciona con el medio ambiente, es definido como un sistema cerrado, si interacciona con el medio ambiente, es definido como abierto. Los sistemas, abiertos o cerrados tienen entradas, salidas, límites y componentes.

La investigación en sistemas de cultivo requiere de un enfoque multidisciplinario y se acepta que tiene como objetivo buscar el aumento de los beneficios derivados de la producción de cultivos a partir de

---

\* Trabajo preparado para su presentación en el Seminario en Sistemas de Producción en Cultivos Anuales. CENTA, San Andrés, El Salvador. Enero 30 - febrero 2, 1978.

\*\* Ph.D, Especialista en Manejo de Suelos, CATIE.

los recursos físicos disponibles. Estos recursos son lluvia, radiación solar, riego disponible y tipo de suelo. La investigación de manejo de recursos trata de aumentar la cantidad y calidad de los recursos disponibles para la producción de cosechas. De este tipo de investigación agronómica se busca optimizar niveles de entradas de factores variables de la producción tales como uso de fertilizantes y plaguicidas.

La investigación agronómica aumenta la eficiencia de uso de recursos por un cultivo, mientras que, la investigación de sistemas considera el arreglo espacial y cronológico como la variable para lograr la utilización más eficiente de los recursos físicos. Por lo tanto, el objetivo de la investigación en sistemas de cultivo es aumentar la utilidad de una calidad y cantidad dada de recursos físicos mediante el aumento de la eficiencia de su utilización en la producción de cultivos. Los recursos físicos considerados importantes para la producción de cultivos son: suelo, agua y radiación solar. La eficiencia con la que estos recursos son usados es medido por la cantidad de cultivo producido por unidad de recursos por unidad de tiempo.

La mayoría de las fincas combinan varias actividades de producción. La investigación en sistemas de finca se orienta a cada empresa presente en la finca y las interrelaciones entre estas empresas y entre la finca y su medio ambiente. La investigación en sistemas de finca emplea información de los varios sistemas consumo-producción de la finca y sobre el ambiente de la finca para aumentar la eficiencia por la cual la finca utiliza sus recursos.

La investigación en sistemas de cultivo confina su actividad a las empresas de producción de cultivo en la finca. Esta investigación toma

en cuenta relaciones existentes entre varias actividades de producción de cosechas, entre las empresas de producción de cultivo y otras actividades de consumo-producción de la finca y entre otros factores ambientales de la empresa de producción de cultivo de la finca.

Las diferencias entre los objetivos de la investigación en sistemas de cultivo, agronómica, y sistemas de finca no son observadas estrictamente por los técnicos y esto es deseable. Con mucha frecuencia la investigación en sistemas de cultivo necesita dirigirse hacia variedades y prácticas específicas de manejo de varias especies.

El proyecto actual del CATIE está dirigido hacia los cultivos anuales manejados por agricultores de recursos económicos limitados de Centro América. Está orientado primordialmente hacia el estudio de arreglos espaciales y cronológicos de cultivos pero no ignora los otros aspectos de investigación agronómica.

Los ensayos de campo son sembrados en terrenos de agricultores con quienes se intercambia información y experiencia.

En la mayoría de los casos los técnicos del Proyecto utilizan las variedades del agricultor y un nivel de insumo adecuado a las condiciones del agricultor en relación al medio socio-económico existente en el lugar.

Los objetivos del Proyecto son claros y específicos, sin embargo, el Programa del CATIE abarca otras dimensiones del enfoque de sistemas.

## COMPONENTES DEL PROYECTO DE SISTEMAS

### Sistema de Cultivo

La base productiva de un sistema de cultivo es el crecimiento de las plantas. Este crecimiento depende de las condiciones del medio ambiente y manejo. Las condiciones ambientales son aquellos factores que influyen el crecimiento de las plantas y que no pueden modificarse sustancialmente por medio del manejo.

El crecimiento vegetal y rendimiento de un cultivo ( $\bar{Y}$ ) puede ser considerado como la resultante de dos vectores multidimensionales, el ambiente ( $\bar{E}$ ) y manejo ( $\bar{M}$ ), así que  $\bar{Y} = f(\bar{M}, \bar{E})$ .

Para los investigadores en sistemas, el vector manejo incluye tanto el tipo y arreglo de cosechas en tiempo y espacio como su administración. El factor ambiental comprende tierra, variables relacionadas con el clima y la disponibilidad de recursos.

Para evaluar la relación producción, ambiente y manejo, el investigador en sistemas de cultivo se concentra en la interacción entre ambientes y manejo y trata de encontrar como debe variar su arreglo espacial y cronológico de sus cultivos para optimizar retornos para diferentes ambientes de producción.

Para efectos de clasificación ambiental los factores físicos fácilmente modificables deberían ser excluidos. Estos factores son fertilidad de nitrógeno y fósforo, deficiencias de micronutrientes fáciles de corregir y la incidencia normal de plagas. Los factores que no pueden ser modificados permanecen en el vector ambiental y son las variables determinantes de los arreglos de cultivo. (Ver figuras 1-4).

### Fase Descriptiva

El primer paso en la investigación de sistemas es conocer el ambiente dentro del cual los sistemas se desempeñan. Esta afirmación supone que los lugares donde se investigará han sido seleccionados por el grupo de investigadores o han sido asignados a ellos por otro grupo o autoridades del gobierno. La descripción del ambiente puede lograrse de diferentes maneras y la metodología para esto variará de acuerdo al país y región. La descripción debe incluir datos de clima, suelos, aspectos socio-económicos y los sistemas de cultivo presentes.

La información que se obtiene en esta fase del proceso es muy importante pues provee los criterios que serán utilizados en las fases siguientes.

En CATIE hemos usado las herramientas de encuestas, seguidas de visitas a la zona y los estudios de caso. Cuando ha sido posible, la descripción del ambiente se ha completado con información de fuentes secundarias. En algunos casos es aconsejable utilizar algún tiempo en conocer mejor los sistemas del agricultor trabajando con el agricultor durante un período de producción. Esto permite enterarse de los detalles que hacen funcionar el sistema. Lo ideal es que una vez que todos los datos han sido tabulados y analizados, se proceda con el siguiente componente, el diseño. En la práctica la siguiente fase, diseño, puede hacerse simultáneamente haciendo uso de la intuición.

### Fase de Diseño

En esta fase se amplía la información obtenida en la primera fase para buscar sistemas que sean adaptados al lugar. En este sentido, el diseño se concentra a una localidad determinada cuyas características

pueden describirse con el necesario grado de detalle.

La capacidad de diseño depende del conocimiento que se tenga de los requerimientos de los componentes del sistema. En esta actividad se hace uso de la tecnología de componentes existente, conocimiento acerca del desempeño de variedades y prácticas de manejo en condiciones ambientales distintas.

El diseño de sistemas de cultivo y las especificaciones de los componentes es realizado por los investigadores en colaboración con los supervisores nacionales.

Existe mucha experiencia, en varios centros de investigación, en el manejo de varias técnicas de intensificación de cultivos. Entre éstas tenemos: cultivos intercalados, cultivos en relevo, cultivos en secuencia y utilización de socas (rebrote de cultivos).

Algunos aspectos ya se conocen y se han documentado. Por ejemplo, se sabe que los cultivos intercalados y en relevo utilizan la luz disponible más eficientemente.

Los cultivos intercalados absorben nutrimentos más eficientemente que los cultivos solos correspondientes. El intercalamiento produce un mecanismo que reduce los efectos de los insectos y las enfermedades sobre la producción de cosechas. El manejo de la cobertura vegetal reduce la población de malezas. El intercalamiento de cultivos puede disminuir el riesgo que ofrecería una cosecha sola, bajo condiciones de incertidumbre, principalmente por sequía. Los cultivos intercalados requieren más mano de obra, en términos anuales, pero la demanda es mejor distribuida.

Es aconsejable incluir, en la fase de diseño, criterios acerca del proceso de toma de decisiones del agricultor, respuesta o ganancia al factor más limitante para la intensificación del cultivo y la estabilidad biológica. Este último criterio incluiría prevención de erosión excesiva, mantenimiento de fertilidad de suelos, prevención del aumento de pestes y disminución del agua en el sub-suelo.

Es necesario mantener en mente que ciertas modalidades de intensificación sólo son empleadas por razones específicas. Por lo tanto debe evitarse diseñar cultivos intercalados o en relevo para condiciones que no lo requieren. Los cultivos intercalados se usan cuando existe una situación de escasez de recursos. Cultivos en relevo se usan cuando se desea utilizar eficientemente la precipitación o aprovechar la sombra de un cultivo para asegurar el establecimiento de un trasplante.

#### Fase de Prueba

Los sistemas diseñados y el manejo acordado por los investigadores son probados en terrenos del agricultor. También es posible que estos sistemas sean probados en campos experimentales en los cuales se simula el manejo dado por el agricultor. La razón para preferir los terrenos del agricultor es que éste enfoque permite probar el sistema bajo el manejo de los agricultores y así poder comprobar las suposiciones hechas en la etapa de diseño. Las suposiciones más sobresalientes son:

1. El sistema es adecuado biologicamento.
2. Los requerimientos económicos son factibles.
3. El manejo especificado para el sistema es el óptimo.
4. El sistema satisface los criterios económicos de su desempeño.

La prueba de sistemas requiere más tiempo y personal que las anteriores: descripción del ambiente y diseño de sistemas.

Durante la fase de prueba se detectan los errores introducidos en la fase de diseño, se mide, se observa el desempeño agronómico del sistema y se recoge la reacción del agricultor al sistema. Las dificultades de manejo son corregidas y los sistemas que mostraron buen desempeño son sometidos a investigación agronómica. Los sistemas ajustados se convierten, entonces, en las bases para las recomendaciones.

#### PRODUCTOS DE LA INVESTIGACION DE SISTEMAS

En el Proyecto del CATIE los productos de la investigación de sistemas son: las recomendaciones específicas para cada lugar, la metodología utilizada para llegar a esas recomendaciones y un mejor entendimiento de las interacciones entre los sistemas y el ambiente. También, es posible que esta metodología proporcione las bases para un mejor mecanismo de transferencia de la tecnología.

El trabajo en sistemas permitirá la especificación de las características que las variedades de los cultivos deberán poseer para acoplarse a los sistemas de cultivo intensificados.

La metodología puede girar en torno de la capacidad de diseño de sistemas, pues, si un agrónomo cuenta con los principios que debe seguir, le será factible repetir o adoptar el procedimiento para intensificar los sistemas de cultivo en áreas nuevas.

#### Metodología

La metodología para la fase de descripción es clara y admite pocas alternativas. Las variantes se deben al nivel de detalle y profundidad

con que se realizan.

En la fase de diseño hay diferentes caminos; uno es el de basar el diseño en el sistema de cultivo que el agricultor de la zona favorece o prefiere en la región. Esta decisión supone que el sistema del agricultor refleja la evolución que los sistemas han experimentado por acción del agricultor. Cuando se sigue este criterio las variantes que el experimentador hace al sistema son mínimas y se limitan a buscar un mejor arreglo, espacial y cronológico para utilizar al óptimo los recursos: agua, suelo, radiación y factores socio-económicos. Cuando el agricultor utiliza al óptimo sus recursos, el investigador sólo puede mejorar el sistema mediante investigación agronómica. Ultimamente los ecólogos de nuestro grupo han propuesto que además del sistema del agricultor, y la información agronómica disponible, se considere, como fuente de criterios para el diseño de sistemas, el concepto de sucesión de plantas. Es decir, diseñar sistemas de cultivo con secuencia de cosechas similares a aquéllas observadas en la naturaleza después de haber cortado un bosque, por ejemplo.

La metodología de la fase de prueba depende de las condiciones socio-económicas y ambientales y varía en cada institución.

#### VARIABLES DETERMINANTES

Si consideramos el crecimiento vegetal y el rendimiento de un cultivo como las resultantes de dos vectores multidimensionales que son el ambiente y el manejo, podemos incluir en el vector ambiente, las variables sobre las cuales no tenemos ningún control. De estas variables hay unas que son más limitantes y las cuales conoceremos como determinantes. El investigador puede incluir en las variables determinantes

tanto como él esté dispuesto a considerar. Algunos investigadores consideran que la fertilidad por nitrógeno y fósforo del suelo son variables no determinantes ya que esto puede ser controlado mediante fertilizaciones. Otros podrían considerar que acidez extrema y estructura son variables determinantes.

#### VARIABLES NO-DETERMINANTES

Las variables no determinantes son aquellas que pueden ser modificadas por manejo o que no influyen para cambiar los sistemas en un lugar. La investigación de sistemas se dirige hacia estas variables, principalmente los arreglos espacial y cronológico. El manejo por ser un factor dependiente del hombre varía de región a región y por lo tanto debe estudiarse para cada sitio. Trabajos en otras partes del mundo indican que, la investigación de sistemas puede hacerse dando a los ensayos un manejo intermedio y que la interacción de sistemas y manejo en estas condiciones es mínima.

#### GRADIENTES DE VARIABLES DETERMINANTES

El concepto de gradiente para las variables determinantes ha sido sugerido como una manera para definir un marco conceptual que ayude al investigador para orientar la investigación.

La investigación agrícola, la mayoría de las veces, es específica para una localidad lo que significa que para cada medio ambiente existente hay que experimentar en el campo. Esto no es práctico ni económico en nuestros países. Una manera de disminuir la especificidad, para sitio y medio ambiente, de la investigación es experimentar sobre puntos ordenados conceptualmente sobre una gradiente.

Básicamente, la metodología supone que cuando la variable determinante cambia, los sistemas cambian, pues el agricultor los modifica de acuerdo a las condiciones específicas del medio. Así que, si medimos el desempeño de un sistema en lugares que representan puntos de una gradiente, obtendríamos mucha información sobre el desempeño de tal sistema en lugares que representan otros puntos de la gradiente.

Hay argumentos en contra del uso de gradientes debido a la posibilidad de que exista más de una variable determinante. Esto sin embargo, puede solucionarse reduciendo el estudio a la gradiente que más influye en el desempeño de los sistemas. Un ejemplo de esta variable determinante es la precipitación.

A continuación se ilustran algunas conceptualizaciones de gradientes climáticas, físicas y económicas. (Ver figuras 5-12).

Lo recomendable para investigar haciendo uso del concepto de gradientes, es trazar un bosquejo de la gradiente o gradientes importantes en el sitio o lugar de estudio. En un principio no es necesario dar valores a las escalas; basta con indicar el orden de magnitud que bien puede ser alto y bajo. Lo importante es relacionar las variables determinantes arregladas en gradientes con los requerimientos del cultivo y manejo del mismo.

Para trabajar con gradientes es necesario que se tome en cuenta lo siguiente:

1. Descripción de las variables determinantes, de manera que sean correlacionados fácilmente con el potencial del sistema.
2. Conocimiento de los requerimientos ambientales de los sistemas, para relacionarlos con variables ambientales.

3. Establecimiento de las relaciones entre prácticas culturales y medio ambiente.

#### PROGRAMAS DE PRODUCCION

El producto de utilidad más práctica de la investigación de sistemas es la recomendación que pueda hacerse a los agricultores de la zona. Antes que la recomendación pueda generalizarse a toda la región, será necesario probar los sistemas recomendados con agricultores.

La manera de seleccionar los agricultores cambiará de acuerdo a la región y los mecanismos de transferencia de tecnología. Una vez que se haya completado esta fase, las recomendaciones podrían formar parte del Programa de Producción existente en el área. Es posible, que la fase de prueba de pre-producción no pueda efectuarse y que la recomendación, por razones de programación, tenga que ponerse pronto al alcance del agricultor. Si las pruebas de campo han sido realizadas en terrenos de agricultores, la recomendación tendrá la cualidad de poder adaptarse más pronto a las características del agricultor. Cuando la investigación se ha llevado a cabo en la estación experimental, la adaptación de la recomendación es más riesgosa.

La investigación ordenada de acuerdo a gradientes tiene cierto grado de extrapolación. Aún no sabemos hasta que grado es extrapolable la información, pero es mejor que experimentar para cada situación de medio ambiente.

La cualidad o capacidad de extrapolación tiene limitaciones, ya que las recomendaciones, por naturaleza, deberán ser específicas para cada localidad. Sin embargo, la extrapolación puede ser deseable cuando

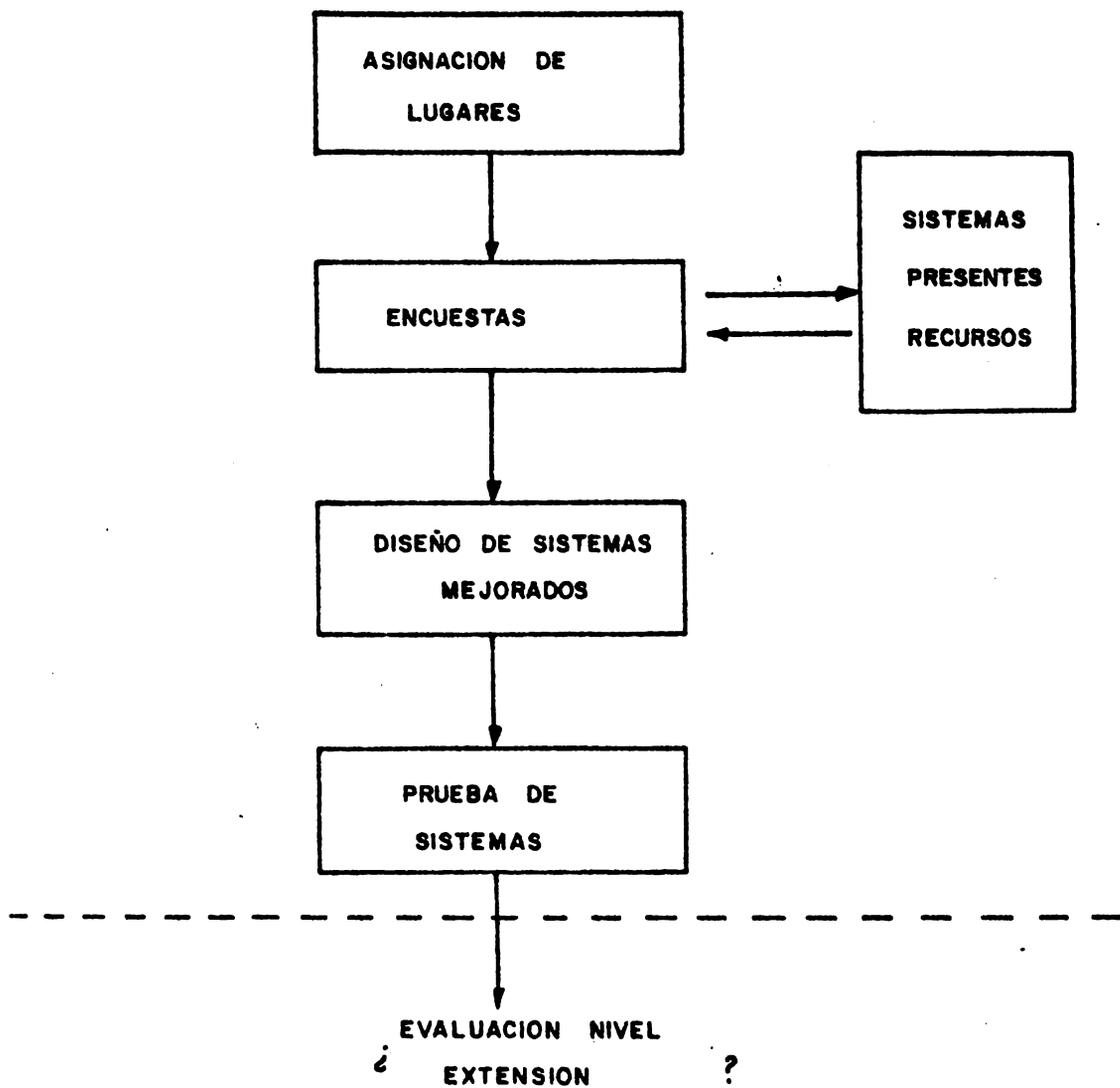
hay pocos recursos para la investigación.

En el CATIE estamos considerando tres posibilidades para introducir en la Investigación de sistemas la capacidad de extrapolación; una es el uso de análogos, la segunda es estudiar los sistemas en relación a su respuesta a gradientes y la tercera es la construcción de modelos que definan la relación entre el ambiente y el desempeño de los sistemas de cultivo.

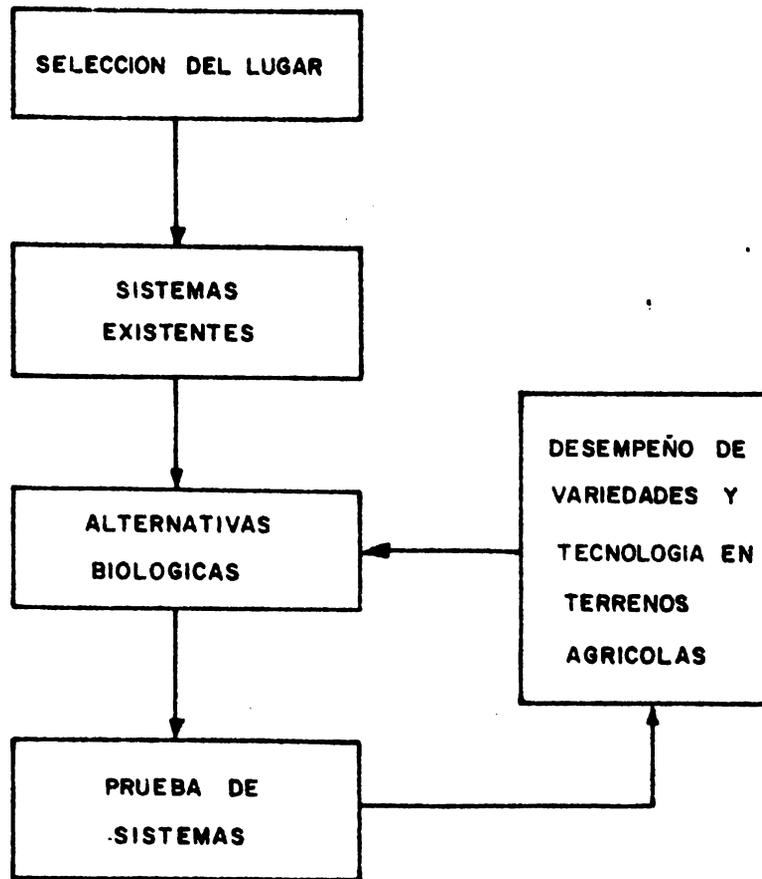
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

1. BURGOS, C.F. Las variables que se consideran en un programa de investigación de sistemas. In Seminario en Sistemas de Producción de Cultivos Anuales, Turrialba, Costa Rica, agosto 16-19, 1977. Memoria. Turrialba, CATIE, 1977. 21 p.
2. HART, R.D. El sistema de cultivos como unidad de experimentación. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1976. 11 p. 3 ref.
3. HARWOOD, R.R. and BORTON, P.E. More from less. A people-oriented research and development method for small tropical farms. New York, International Agricultural Development Service (unpublished).
4. ZANDSTRA, H.G. Cropping systems research for the asian rice farmer. In Symposium on Cropping Systems Research and Development for the Asian Rice Farmer, Los Baños, Philippines, September 21-24, 1976. Los Baños, IRRI, 1976. 17 p.

FITO 805/78  
23/1/78  
CFB/idev



**Fig. 1 Componentes del proyecto de investigación de sistemas de cultivo para fincas pequeñas**



**Fig. 2** Diseño de alternativas de sistemas de cultivo para el sistema de finca existente

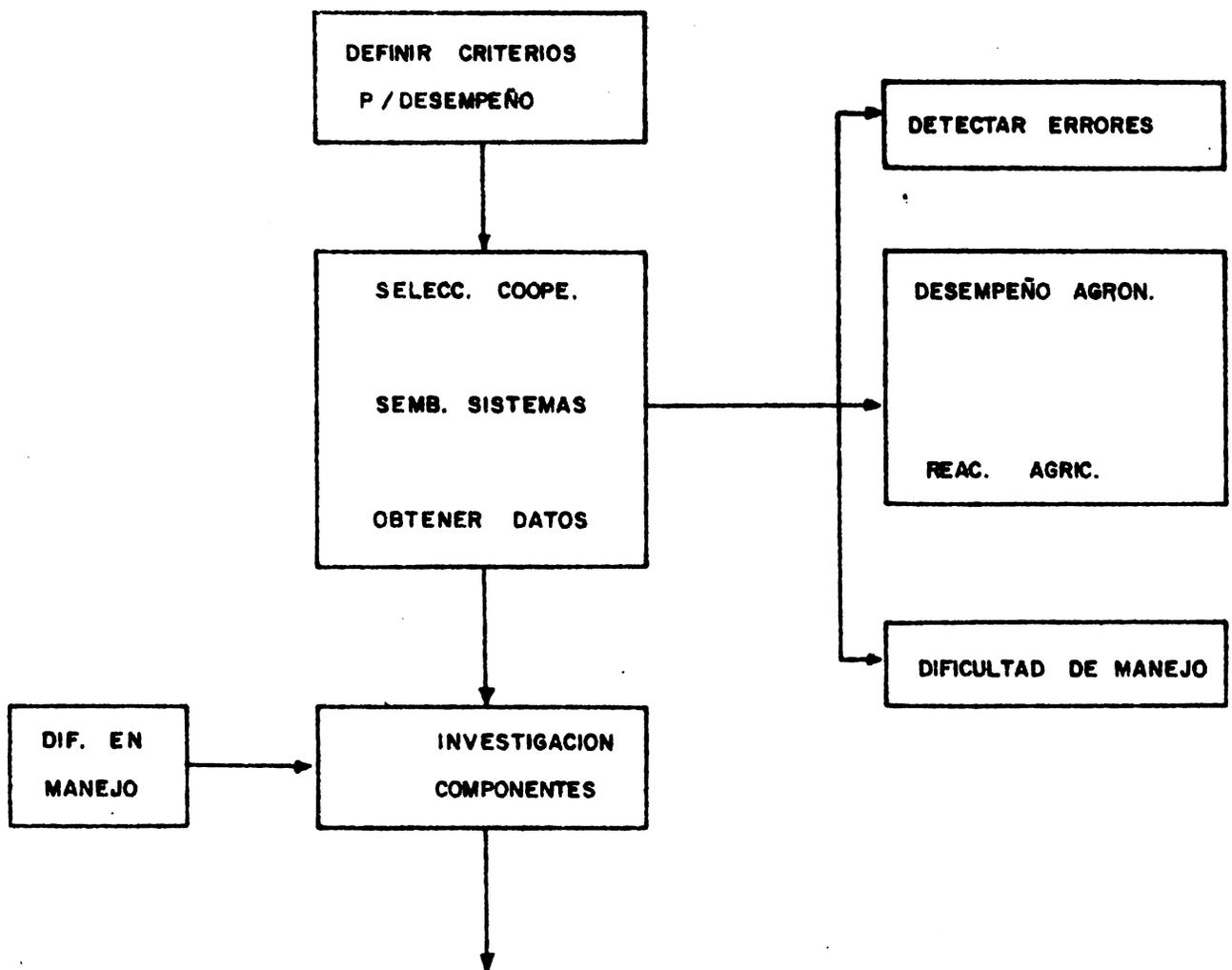


Fig. 3 Prueba de las alternativas de sistemas de cultivo

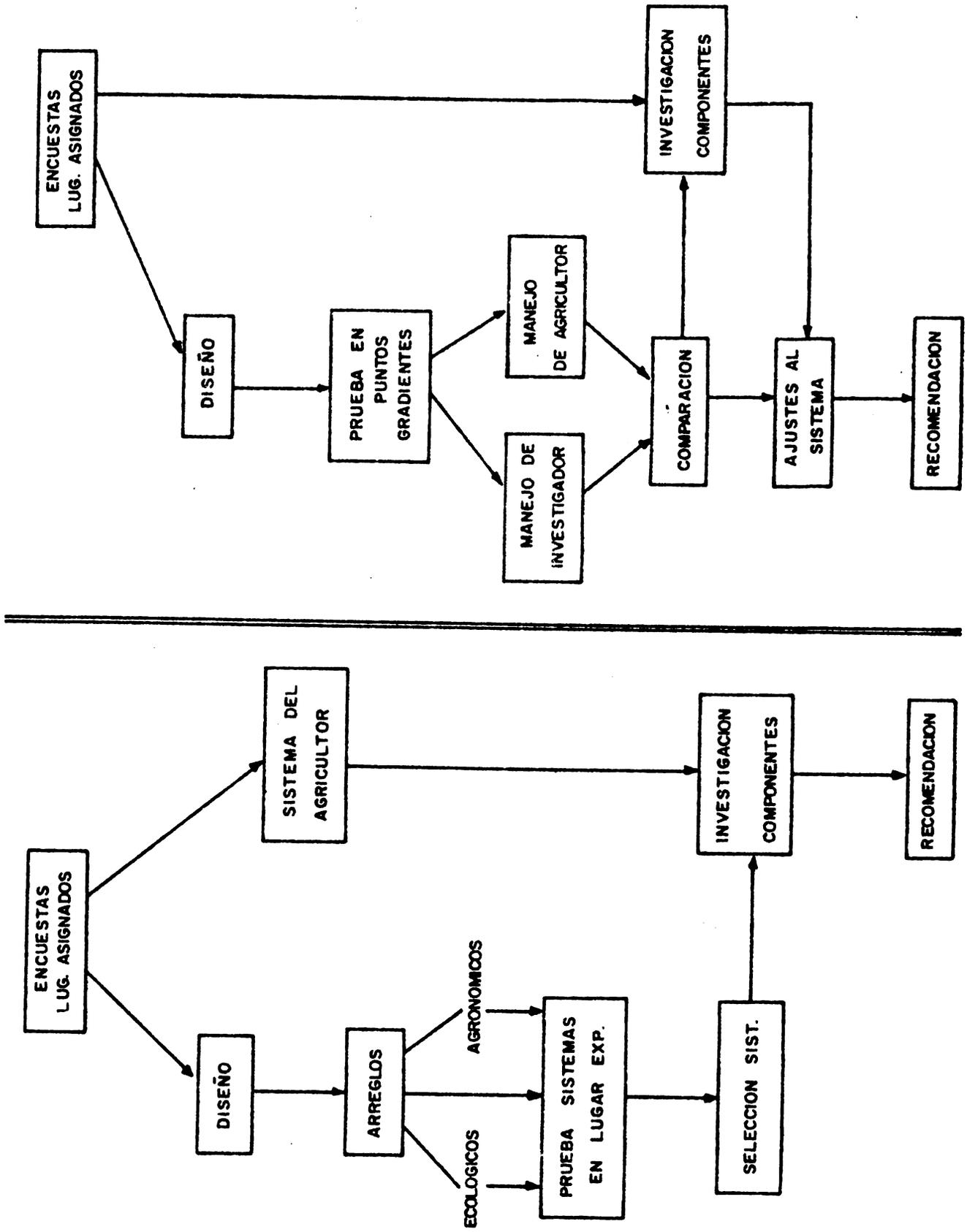


Fig. 4 Posibles modelos de investigación de sistemas de cultivo para fincas pequeñas

Gradiente climático

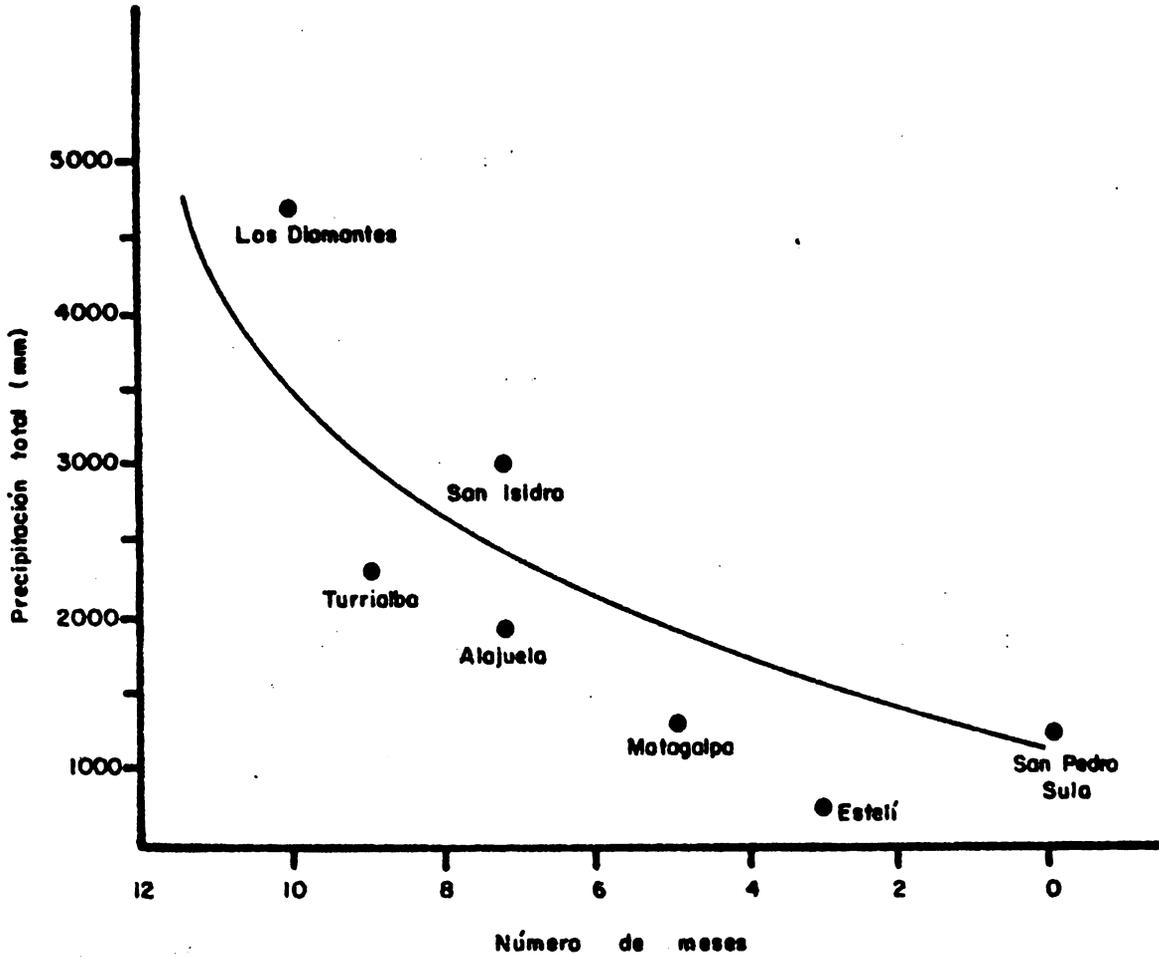


Fig. 5 Relación entre precipitación total anual y periodicidad general ( promedio mensual con más de 100 mm de precipitación al 75% de probabilidad ) para ocho lugares en América Central

Gradiente climático

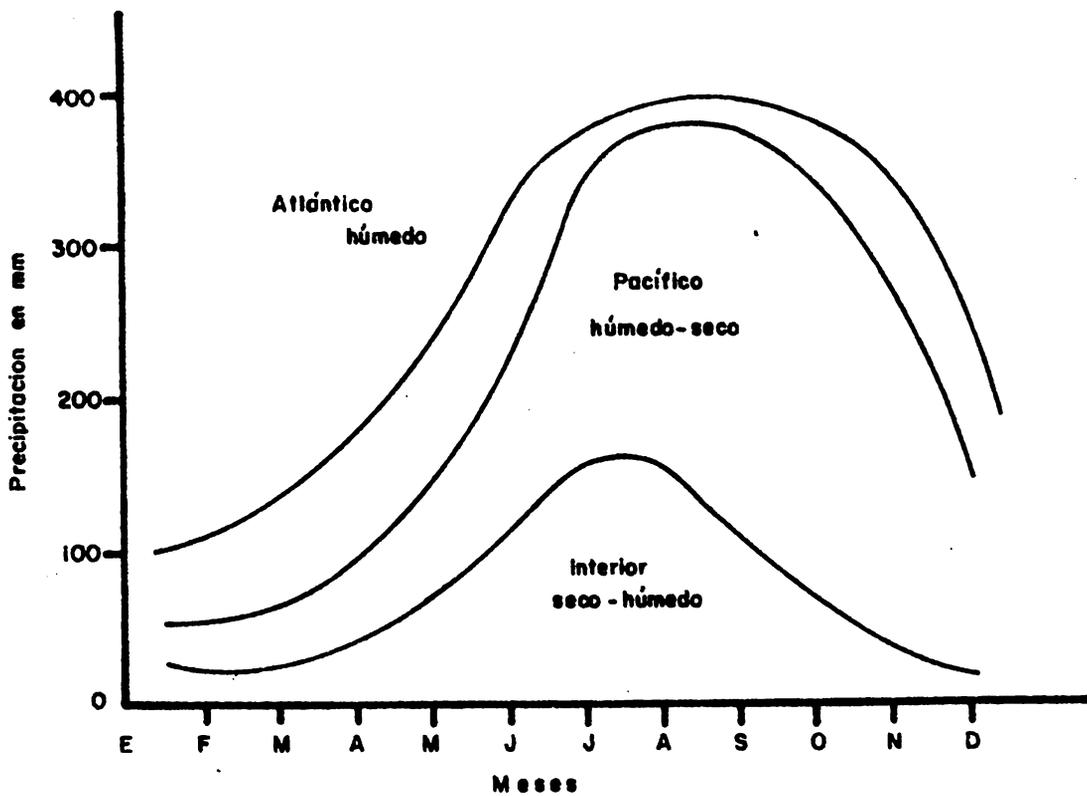
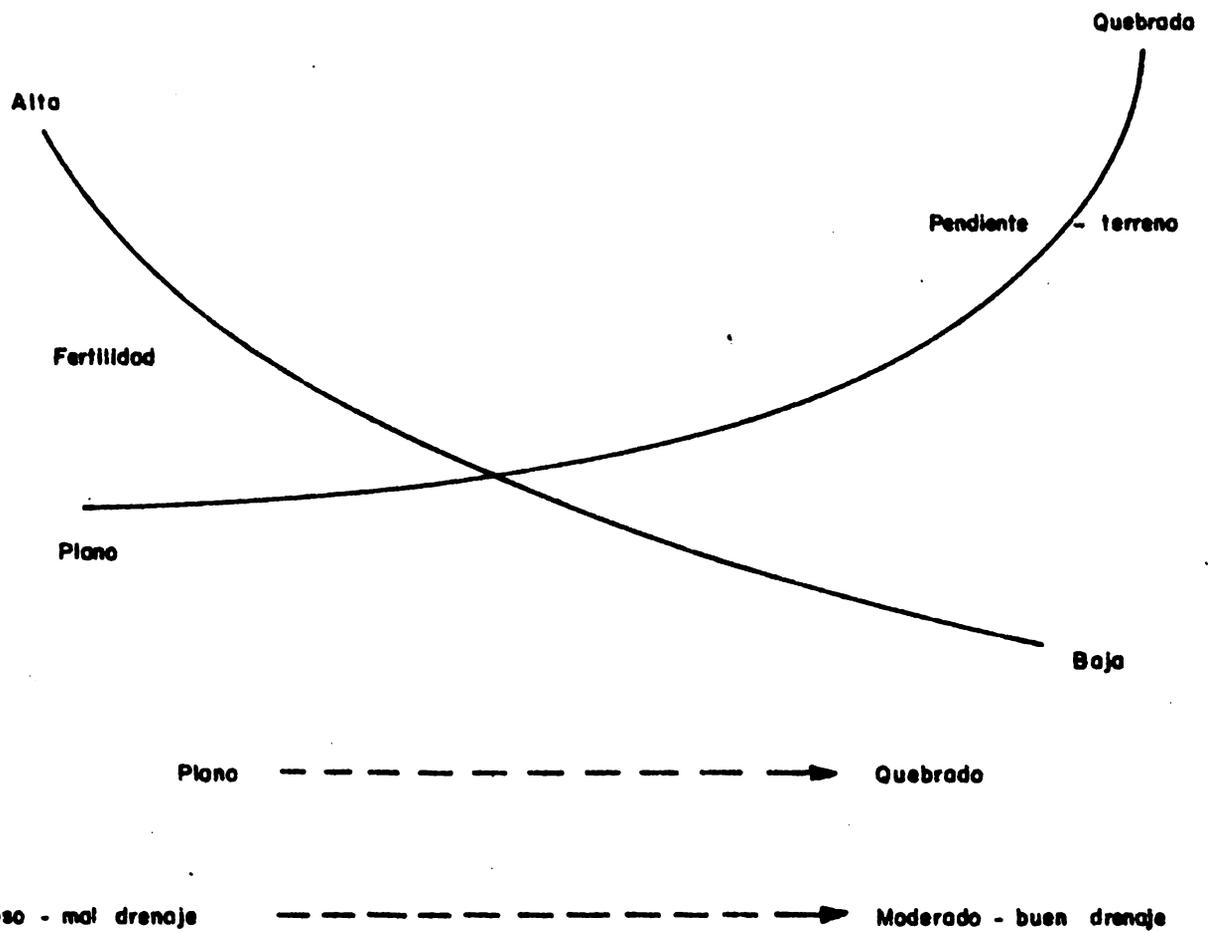


Fig. 6 Distribución de la precipitación mensual (75% de probabilidad) de tres zonas de Centro América



**Fig. 7 Gradientes físicas de suelo y terreno: relación conceptual entre fertilidad y pendiente del terreno**

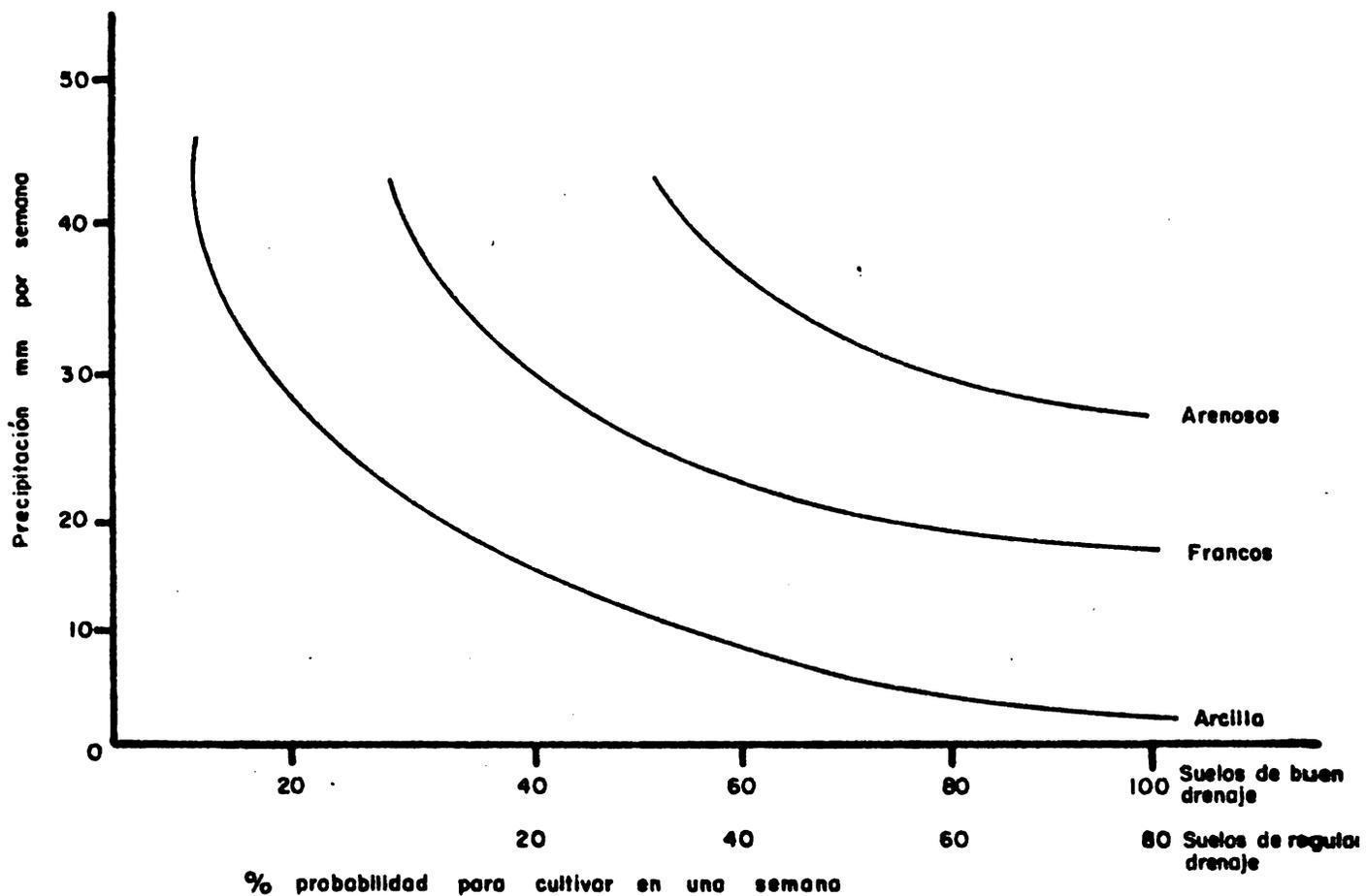
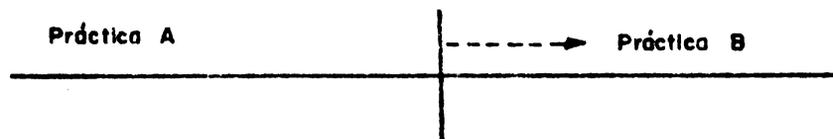
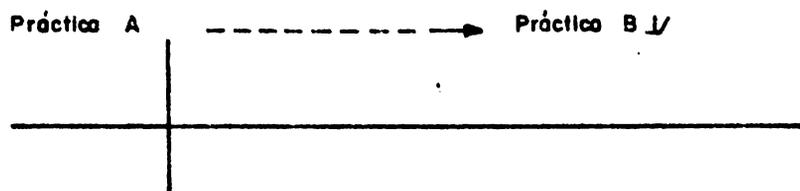


Fig. 8 Relación entre precipitación y problemas de labores para diferentes texturas de suelo

Métodos de manejo con  
insumos de costo alto



Métodos de manejo con  
insumos costo bajo



Aluminio bajo

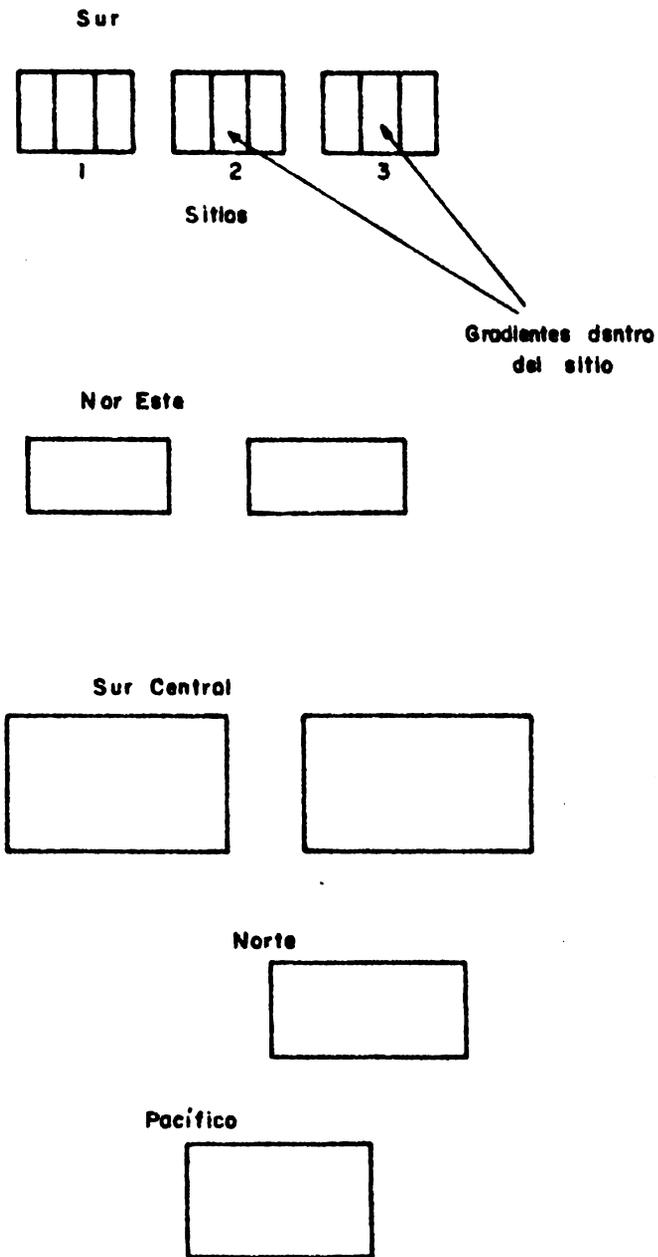
Aluminio alto

Escola de aluminio soluble

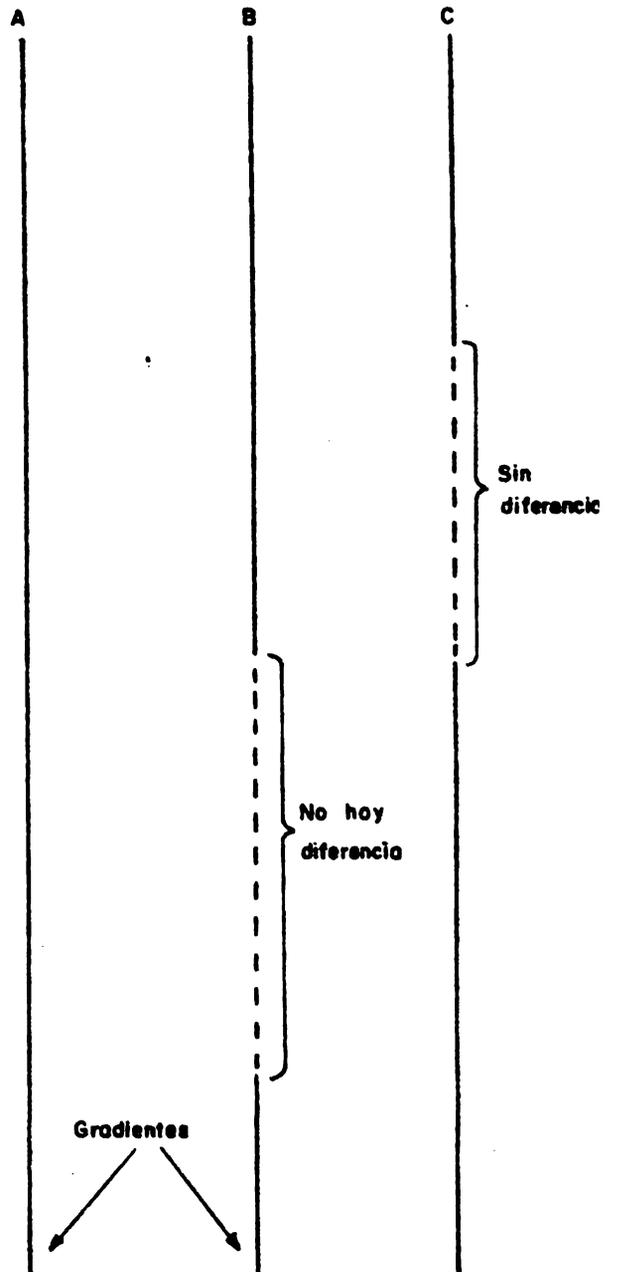
∟ Práctica B. Concentración de materia orgánica de cosechas y residuos de malezas en lomillos donde el cultivo es sembrado

Fig.9 Efecto de aluminio soluble en el suelo sobre los métodos de manejo de cultivos

**Localidades**



**Gradientes ambientales que determinan diferencias en potencial**



**Fig. 10 Bosquejo conceptual de diferencias y similitudes entre sitios con respecto a diferencias de potencial de los sistemas de cultivo**

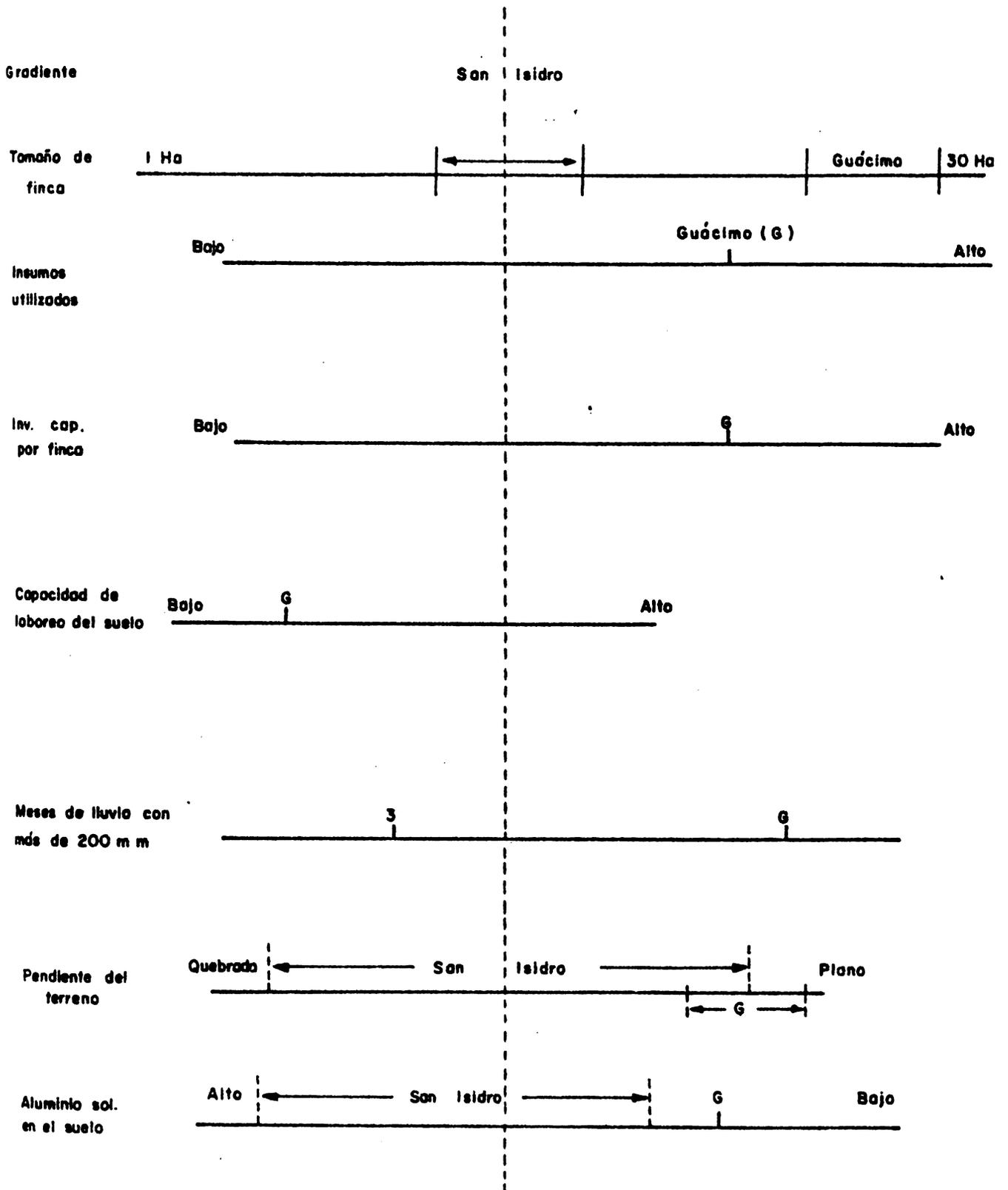
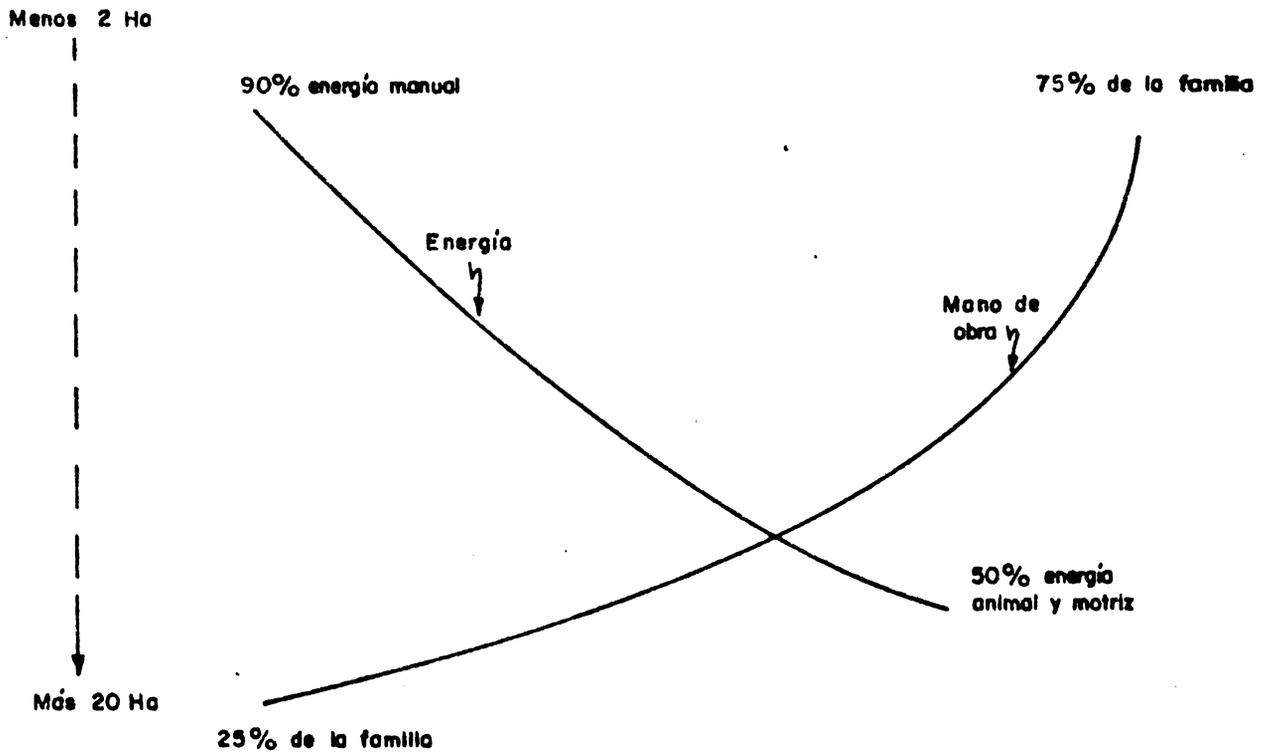


Fig. 11 Comparación del perfil de gradientes de determinantes para los cultivos de dos lugares

Tamaño de finca



Por ciento de mano de obra de la familia y de energía animal y motriz

Fig. 12 Gradiente económica : mano de obra y energía motriz