

IICA - CIBIA

CATIE Turrialba

23 AGO. 1977

Cultivos y Suelos Tropicales

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

IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION EN FERTILIDAD

DE SUELOS COMO COMPONENTE DE LOS

ESTUDIOS EN SISTEMAS INTEGRADOS DE

PRODUCCION AGRICOLA

Carlos F. Burgos

Conferencia presentada en el Segundo Seminario  
sobre Evaluación de Fertilidad de Suelos.  
Turrialba, CATIE 18 julio-12 agosto, 1977

Turrialba, Costa Rica

1977

QUE ES INVESTIGACION EN SISTEMAS DE CULTIVO\*

Carlos F. Burgos\*\*

No existe mucha claridad en cuanto a qué es investigación en sistemas. Reconocemos que cubre muchas disciplinas lo cual hace necesario un enfoque interdisciplinario. Hay mucho menos acuerdo sobre las características de la investigación de sistemas que la distinguen de investigación agronómica y de actividades de manejo de recursos. Otro aspecto que amerita aclaración es la diferencia entre investigación en sistemas de cultivo e investigación en sistemas de finca.

En general la investigación en sistemas de cultivo busca aumentar los beneficios derivados por la producción de cultivos con los recursos físicos disponibles. Recursos tales como lluvia, radiación solar, riego disponible o cierto tipo de suelo no son fáciles de cambiar. La investigación en sistemas se diferencia de actividades de manejo de recursos, en que éstas persiguen el aumento en cantidad y calidad de los recursos disponibles para la producción de cosechas u otros procesos. Se diferencia de investigación agronómica la cual busca optimizar niveles de entradas de factores variables de producción de cosechas tales como fertilizantes e insecticidas. La investigación agronómica aumenta la eficiencia de uso de recursos por un cultivo mientras que la investigación de sistemas de cultivo considera el arreglo espacial (cropping pattern) como una variable en la búsqueda por la utilización más eficiente de los recursos físicos.

---

\* Conferencia presentada en el Segundo Seminario sobre Evaluación de Fertilidad de Suelos. Turrialba, CATIE 18 julio-12 agosto, 1977

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

Por lo tanto, el objetivo de la investigación en sistemas de cultivo es aumentar la utilidad derivada de una calidad y cantidad dada de recursos físicos mediante el aumento de la eficiencia de su utilización en producción de cultivos. Los recursos físicos considerados importantes para la producción de cultivos son: tierra, agua y radiación solar y la eficiencia con la que ellos son usados es medido por la cantidad del cultivo producido por unidad de recurso por unidad de tiempo. La producción de la cosecha puede expresarse en peso de producto, peso de proteínas, calorías o unidades monetarias.

La mayoría de las fincas combinan varias actividades de producción. En efecto la finca puede considerarse una combinación de actividades de producción y consumo. La investigación en sistemas de finca se dirige a cada empresa presente en la finca y a las interrelaciones entre estas empresas y entre la finca y su medio ambiente.

La investigación en sistemas de la finca emplea información de los varios sistemas consumo-producción de la finca y acerca del medio ambiente de la finca (físico, institucional, social y económico) 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. Toma en cuenta relaciones que existen 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 en la finca.

En cierta forma aísla la empresa de producción de cultivo, la investigación en sistemas de cultivo no se dirige a cambios en distribución

de recursos entre actividades de producción-consumo de la finca, y por lo tanto, considera interrelaciones de recursos existentes entre estas actividades y la empresa de cultivo como dadas.

Las diferencias descritas entre el rol de la investigación en sistemas de cultivo, agronómica e investigación de sistemas de finca no son observadas estrictamente por los técnicos y esto es afortunado. Muy frecuentemente, la investigación en sistemas de cultivo necesita dirigirse hacia variedades y prácticas específicas de manejo de varias cosechas, para evaluar su desempeño relativo en diferentes ambientes. En ese momento modificaciones ventajosas pueden hacerse en esta tecnología de componentes, lo que en realidad es una actividad de investigación agronómica.

#### SISTEMAS DE CULTIVO

La base productiva de un sistema de cultivo es el crecimiento de las plantas, el cual está sujeto a condiciones del medio ambiente y manejo.

Las condiciones ambientales son aquellos factores que influyen en el crecimiento de las plantas y que no están sujetos a modificaciones por 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 el investigador en sistemas de cultivo el vector de manejo incluye el tipo y arreglo de cosechas en tiempo y espacio (cropping pattern) y su manejo. Esto incluye la escogencia de variedad, método de establecimiento del cultivo, fertilización, manejo de plagas (malezas, insectos, enfermedades) y cosechas (tecnología de componente) para todos los cultivos

en el arreglo. El vector ambiental comprende tierra y variables relacionadas con el clima; tales como lluvia disponible y riego, textura de suelo, nivel freático, toxicidad del suelo, posición topográfica del campo, duración del día, radiación solar, temperatura; y la disponibilidad de recursos tales como fuente de energía, mano de obra y efectivo.

Para evaluar la relación  $\bar{Y} = f(\bar{M}, \bar{E})$  el investigador en sistemas de cultivo se concentra en la interacción entre  $\bar{E}$  y  $\bar{M}$  y trata de identificar como él debería variar su arreglo espacial y temporal de cultivos ( $\bar{M}$ ) para optimizar retornos para diferentes ambientes de producción. Del entendimiento de la relación anterior él busca predecir el mejor manejo a partir de la información del medio ambiente. La estimación del rendimiento es la actividad primaria de la investigación en sistemas de cultivo. Para mejorar la capacidad de diseño de sistemas de cultivo los investigadores tienen que hacerse más adeptos a la medición de los vectores ambientales.

Para propósitos de clasificación ambiental factores físicos fácilmente modificables deberían ser excluidos. Estos 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 cultivos.

#### EL CONCEPTO DE GRADIENTES

La metodología general para la investigación en sistemas de cultivo ha sido presentada en términos generales en los párrafos anteriores. El enfoque tiene su centro en el concepto de diseño de sistemas de cultivo.

La capacidad de diseño establece el ensamblaje de componentes de tecnología, dentro de una matriz de determinantes físicas, socio-económicas y biológicas para producir un sistema de cultivo que dé al agricultor un nivel óptimo de productividad.

El potencial de sistemas de cultivo depende del ambiente del sitio. El potencial cambia a través de localidades con cambios, conocidas como gradientes, de las variables determinantes. Muchas, tales como lluvia, temperatura y tipo de suelo han sido definidas en varios sistemas de clasificación. Estas clasificaciones, en la mayoría de los casos, definen zonas ecológicas. Una zona ecológica es una a través de la cual se encuentra un potencial de crecimiento vegetativo relativamente uniforme. Los sistemas de cultivo, sin embargo, incluyen la capacidad del hombre para manejar cultivos dentro del marco de su ambiente socioeconómico. Ahora necesitamos, descripciones de complejos de producción o sea zonas agroclimáticas a través de las cuales el potencial de sistemas de cultivo permanece uniforme.

En la disciplina de fertilidad de suelos debemos identificar aquellas variables que por ser difíciles de modificar deban ser consideradas como determinantes de los sistemas de cultivo en terrenos de pequeños agricultores. En el caso del proyecto del CATIE se han identificado variables de suelos que por su naturaleza se consideran determinantes, éstas son: textura, toxicidad por elementos químicos y deficiencia de algunos elementos.

La investigación en Fertilidad de Suelos que se hace con los suelos de los lugares en donde el equipo tiene ensayos empieza con un muestreo de reconocimiento para evaluar la homogeneidad del suelo de los campos

experimentales. Los resultados de los análisis son utilizados para hacer recomendaciones de fertilización que asegurarán un crecimiento adecuado de los cultivos. La fertilización adoptada no es la que pudiera dar la producción máxima posible pues el pequeño agricultor no cuenta con los recursos para hacerlo. En algunas regiones es posible hacer investigación de dosis de fertilizante por razones propias de infraestructura. Esta decisión, sin embargo, por ser de tipo económico no la trataremos en esta oportunidad.

Al mismo tiempo que se obtienen muestras para análisis de suelo se colecta suelo para ensayos de invernadero que añadirán mayor información sobre la fertilidad de tales suelos. La técnica para tales pruebas es materia del seminario y por lo tanto no la trataremos aquí. Al principio del proyecto la técnica de invernadero que utilizamos consistía en crecer una planta indicadora (sorgo-Sudan SX-16) en latas de metal que contenían 1000 ml. de suelo seco. El suelo recibía tratamientos basados en los análisis de suelo al fin de un mes las plantas de la maceta eran cortadas y el material secado en un horno hasta que alcanzó peso constante. El peso seco se registró y los tratamientos se compararon tomando como índice el peso seco del material vegetal. Aunque los tratamientos no eran repetidos la información así obtenida en forma rápida dio mucha información acerca de cuales nutrimentos al ser aplicados se reflejarían en una respuesta por parte del sistema de cultivo que sería sembrado.

En algunas instancias la evaluación de la fertilidad indicó que investigación en otros aspectos de manejo de suelos podrían ser de mucho provecho. Así en los suelos ácidos, bajos en fósforo, calcio y magnesio y con alto contenido de aluminio intercambiable estamos estudiando el

efecto de acumular materia orgánica al lado de lomillos hechos a mano sobre los cuales se siembra el maíz y frijol. En ambientes donde el exceso de lluvia no permite la preparación del terreno en ciertas épocas, evitando así el mejor uso del terreno se estudian manejos de suelo con poco o ningún laboreo. Estos son unos ejemplos del tipo de investigación que puede relacionarse con Fertilidad y Manejo de Suelos. A continuación se hace un resumen de la manera como, en sistemas intensivos de cultivo, podría hacerse más eficiente la práctica de llenar los requisitos de nutrientes de los cultivos.

FITO 734-77

3/8/77

CFB/idev

COMO LLENAR LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES  
EN SISTEMAS DE CULTIVO INTENSIVOS

Este t3pico est3 muy bien tratado en el cap3tulo octavo de un libro sin publicar del Dr. R. R. Harwood\*. A continuaci3n se transcribe la versi3n al Espa3ol del cap3tulo citado.

Aspectos ambientales

Problemas en fertilidad de suelos y competencia por nutrimentos

Los requerimientos nutricionales de sistemas de cultivos intensivos. El logro y mantenimiento de niveles altos de producci3n de cosechas en forma sostenida . eventualmente gira alrededor del mantenimiento de la fertilidad de suelos como variable determinante.

El agricultor tradicional trata este problema de cuatro formas. Tres de ellas involucran m3todos de ciclaje de nutrimentos en el campo de fuentes externas.

En fincas de orientaci3n comercial la metodolog3a es clara. Cuando hay acceso a insumos de fertilizantes, mercado para productos de la cosecha y con sistemas de cultivo productivos el uso de fertilizantes comprados es un componente normal y rentable de los sistemas altamente productivos. La compra de fertilizantes qu3micos o desechos urbanos que han sido reciclados es el m3todo m3s familiar para nosotros. Este m3todo es el que demanda menos, en t3rminos de uso de mano de obra. Tiene el potencial f3sico para eliminar deficiencias nutricionales como una determinante en la producci3n intensiva de cosechas.

---

\* HARWOOD, R.R. Toward the well-being of the small tropical farmers. New York, International Agriculture Development Service (unpublished).

C.2.1.4. Un segundo método de ciclaje representa el uso de nutrimentos acumulados fuera de la finca. Pastar animales en tierras comunales, recoger el estiércol de los animales de las praderas y llevarlo al lugar de vivienda para hacer compost. Este material es mezclado con el estiércol recogido durante la noche y mezclado con hojas y materiales vegetales recogidos de bosques cercanos como fuente de abono orgánico para fertilizar los campos cosechados intensivamente. Esta práctica es empleada en lugares montañosos donde los fertilizantes comerciales no están disponibles. Las dificultades de este sistema son que requiere uso intensivo de mano de obra y un balance adecuado entre tierra de cultivo, bosque y pradera para pastoreo.

La tercera práctica es el reciclaje más limitado de nutrimentos entre componentes del mismo sistema. Material vegetal es mezclado para descomposición con cualquier material de desecho de la casa, cenizas del fuego de la cocina principalmente. Heno de las cercas, desechos de cosechas y de otras fuentes es dado al ganado recogiendo el estiércol para elaboración de abono orgánico. El abono es entonces aplicado a las cosechas que más se benefician con esta práctica (hortalizas). El ciclaje de nutrimentos entre componentes de la finca, al igual que el de nutrimentos de fuera de la finca, es de uso de mano de obra intensivo. El sistema es algo ineficiente en términos de pérdida de nutrimentos, dependiendo del manejo que se le da. Mejoras en eficiencia pueden lograrse cuando los animales son amarrados y alimentados en los campos de cultivo después de cosechar. La prevalencia de ciclaje de nutrimentos parece estar relacionada inversamente al grado de participación en una economía de mercado. Pareciera estar más asociada con la relación entre el costo de fertilizante y el costo de oportunidad de mano de obra. Donde la mano de obra tiene un valor en efectivo bajo en relación al costo

de fertilizante existe el potencial para el trabajo intensivo de ciclaje de nutrimentos.

El cuarto aspecto involucra eficiencias de uso dentro de una misma empresa agrícola.

En un ecosistema forestal los nutrimentos son gradualmente extraídos del suelo durante un período de tiempo largo. Los árboles del bosque gradualmente desarrollan un sistema radical profundo el cual es altamente eficiente en extraer nutrimentos de los horizontes profundos. La considerable acumulación de nutrimentos contenida en la biomasa animal y vegetal es parcialmente reciclada por la caída de las hojas y por el consumo de materiales por insectos y animales. Este ciclaje se mantiene en parte con cultivos solos pero la ventaja de mantener grandes cantidades de biomasa vegetal es perdida y la eficiencia de absorción de cosechas de corta duración es mucho menos eficiente.

El ciclaje rápido ocurre por la quema en agricultura nómada. A medida que el bosque es quemado los nutrimentos almacenados en la biomasa vegetal son liberados en forma soluble y se hacen disponibles para crecimiento de cosechas posteriormente.

El ciclaje de nutrimentos en la finca puede ser beneficioso a tasas bajas de retorno, a medida que el agricultor tiene períodos de poca actividad a través del año durante los cuales el abono orgánico es llevado al campo cuando el agricultor pone poco valor a su trabajo.

Proceso de ciclaje de nutrimentos. Los nutrimentos se originan de la intemperización del material madre. Los nutrimentos solubles pasan a formar parte de los nutrimentos (solutos) en la solución del suelo (D). La concentración de nutrimentos en la solución del suelo permanece en equilibrio

con los nutrimentos adheridos a las partículas del suelo y los que están fijados en el suelo (E) y no disponibles para crecimiento vegetal. Las plantas absorben nutrimentos de aquellos disponibles en la solución del suelo y los acumulan en la biomasa vegetal (A) cuando las plantas crecen. Cuando la planta o parte de ella muere el material es depositado en la superficie del suelo donde la acumulación de nutrimentos ocurre (B). Los desechos vegetales son descompuestos por una serie de procesos biológicos, la mayoría de los cuales involucra microorganismos, en ácidos orgánicos y nutrimentos solubles los cuales entonces forman parte de la solución del suelo de los primeros centímetros del suelo.

Los nutrimentos ciclados en el sistema ya sea mediante la adición de fertilizantes, ciclados por el hombre, depositados por inundaciones u otras fuentes son añadidos a (B) o (C) acumulación de desechos animales y vegetales o la zona de concentración de nutrimentos solubles del horizonte superficial, respectivamente. Los nutrimentos de (C) se agregan a D, son absorbidos por plantas en crecimiento, son lixiviados por el agua en movimiento y eventualmente alcanzan equilibrio con los nutrimentos en el suelo (E) o son perdidos por lixiviación. El nitrógeno puede perderse por desnitrificación y escapar como amoníaco (gas) o por medio de quemas y pérdida directa a la atmósfera.

Las cantidades relativas de nutrimentos en A, B, C, D y E determinan la productividad del sistema y son la clave para el manejo de nutrimentos bajo diferentes condiciones de recursos. Para el crecimiento rápido y rendimiento alto de una variedad mejorada de un cultivo anual, es requerida una concentración alta de nutrimentos en la solución del suelo (C y D) en el espacio inmediato adyacente a las raíces. El mantenimiento de tal concentración es el propósito de todos los intentos de ciclaje de nutrimentos.

En suelos de alta fertilidad las propiedades químicas del suelo son tales que la concentración de nutrimentos en la solución del suelo (D) es alta, naturalmente. En estas condiciones los cultivos pueden mostrar poca respuesta a la adición de fertilizantes.

En suelos de contenido bajo de uno o más de los nutrimentos más importantes necesarios para el crecimiento de las plantas es normalmente inaceptable agregar suficiente nutrimento para saturar la capacidad de fijación del suelo. Entonces el objetivo es aplicar los nutrimentos tan cerca a las raíces como sea posible y al momento cuando los cultivos más los necesitan. Bajo estas circunstancias el cultivo usa menos del 40% de los nutrimentos añadidos. Parece que las prácticas del agricultor tradicional mencionadas arriba representan tres tipos de uso de nutrimentos bajo condiciones de baja fertilidad.

Con una agricultura intensiva estabilizada el mantenimiento de cultivos perennes de raíz profunda que reciclan nutrimentos de capas profundas del perfil, a través de la biomasa sustancial que producen, para concentrarlos en la capa superficial del suelo mediante la caída de hojas o corte y "mulching" es de uso difundido.

En Indonesia la leguminosa de raíces profundas y ramas erectas Glyricidia maxima es sembrada en surcos y sobre los bordes de los arrozales de inundación. Este sistema es muy eficiente donde el material vegetal no tiene que ser transportado de fuera de la finca y donde los árboles son especies económicas. Recientemente existe interés en utilizar esta metodología con Leuceana glauca. Las hojas de Leuceana son excepcionalmente altas en su contenido de nitrógeno, pero sus hojas se extienden compitiendo así con las cosechas por luz solar. Se considera que el método actual de siembra en franjas y cortarlas

cuando son pequeñas requeriría mucha mano de obra y ocasionaría problemas de malezas en las fajas de Leuceana. La poda de árboles de Glyricidia acompañada de la quema de las ramas grandes parece ser en muchas formas la mejor alternativa.

Un SEGUNDO aspecto de eficiencia es el cuidadoso mantenimiento de desperdicios vegetales (barbecho) sobre la superficie del suelo, como "mulch", en lugar de quemarlo o incorporarlo. Esto permite una descomposición y concentración gradual en las capas superiores del suelo.

Un TERCER aspecto de eficiencia asociado al mantenimiento de mulch es aquel de cultivos intercalados muy mezclados. La disponibilidad de nutrimentos en la capas superficiales del suelo, especialmente donde las plantas se han dejado en la superficie del suelo a través de la estación seca, aumenta marcadamente durante el período de las primeras lluvias, luego disminuye gradualmente a lo largo de la estación lluviosa alcanzando su valor mínimo en la estación seca. La mezcla de cultivos de varios períodos de maduración (2 a 10 meses), cada una a densidades relativamente bajas, tiene una demanda alta temprano en la estación, debido a la presencia de cultivos de crecimiento rápido tales como maíz, luego una demanda reducida gradualmente a lo largo de la estación a medida que las poblaciones bajas de cosechas anuales de larga duración alcanzan madurez. La demanda de nutrimentos por las plantas es ajustada de esta manera a la disponibilidad de nutrimentos del suelo en el tiempo.

De ninguna manera se desea afirmar que estas prácticas sustituirán la aplicación de nutrimentos en términos de altos rendimientos. Tales prácticas simplemente son relativamente eficientes en la utilización de abastecimientos escasos de nutrimentos para producir cosechas modestas. Harwood enfatiza:

que no hay razón para que fertilizante caro no pueda ser utilizado más eficientemente en combinación con aspectos de metodologías tradicionales de reciclaje de nutrimentos. Las tecnologías de uso eficiente de fertilizante tales como colocación precisa y a tiempo, formas de solubilidad lenta y otros muchos aspectos serán de importancia, pero los aspectos generales del uso eficiente deben también ser considerados.

FITO 667-77

CFB/irv

Resumen de: HARDWOOD, R.R. Toward the well-being of the small tropical farmers. New York, International Agricultural Development Service (unpublished).

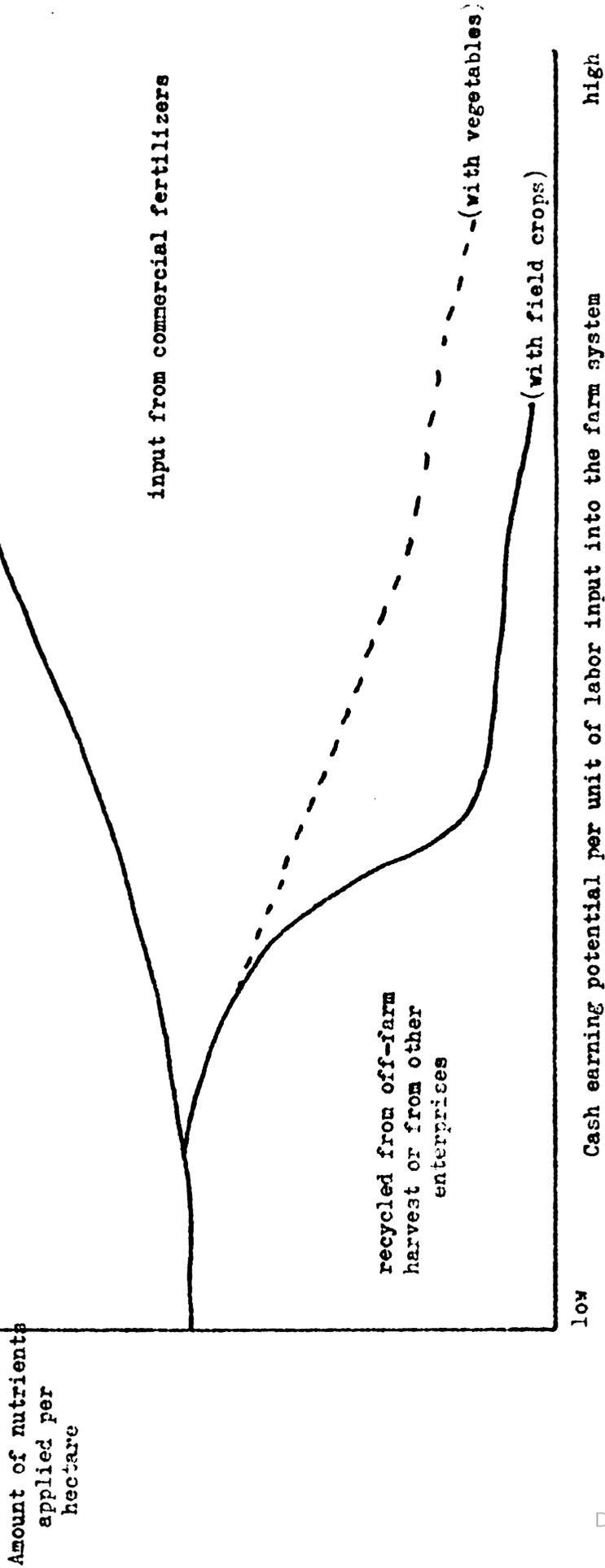


Figure 8-1. Relationships between cash returns to labor and the method of meeting crop nutrient requirements.

Figure 8-2

Nutrient cycling in cropping systems

Reimpreso de: HARDWOOD, R.R. Toward the well-being of the small tropical farmers. New York, International Agricultural Development Service (unpublished).

