



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION Y
PROMOCION AGROPECUARIA



NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY

CIPA XVI-ESTACION EXPERIMENTAL DE YURIMAGUAS

PROGRAMA DE SUELOS TROPICALES

YURIMAGUAS, PERU

DINAMICA DE LOS NUTRIENTES EN EL SUELO EN
SISTEMAS DE CULTIVO MULTIPLES CON RELACION
AL USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES 1/

R.E. McCollum 2/

SERIE DE SEPARATAS

N° 10

Apoyado por el Proyecto Especial de Administración de Suelos Tropicales PL 480, el Proyecto IEE y el Soil Management Collaborative Research Support Program TROPSOILS de la Agencia para el Desarrollo Internacional.

DINAMICA DE LOS NUTRIENTES EN EL SUELO EN SISTEMAS DE CULTIVO
MÚLTIPLES CON RELACION AL USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES 1/

R.E. McCollum 2/

RESUMEN

La dinámica de los nutrientes en sistemas de cultivos múltiples no se puede estudiar de manera racional sin dar la atención necesaria a la dinámica del crecimiento (y del rendimiento) del sistema en sí. Los cultivos múltiples implican generalmente diferentes especies de cultivos con diferentes formas de productos cosechados así como ciclos reproductivos de duraciones diversas. Además, como las fechas de siembra de los cultivos varían entre estaciones muy cortas (en climas templados y fríos) y entre estaciones infinitamente largas (ambientes tropicales con buena distribución pluvial), las duraciones de los sistemas de cultivo, difieren también. En regiones con estaciones largas, los sistemas de duración diferente son más bien la regla y no la excepción. Para los cultivadores que usan sistemas de cultivo múltiples y, especialmente para los investigadores en esta materia, es importante considerar los siguientes puntos:

1. El rendimiento por hectárea tiene poco sentido (si es que lo tiene) cuando se trata de comparar la productividad de cultivos múltiples. La pregunta definitiva para los investigadores es "el rendimiento por hectárea y por ¿qué?" y este "qué" en la pregunta es una unidad de tiempo (día, mes, estación).
2. Generalmente, la acumulación total de nutrimentos tiene una correlación estrecha con el rendimiento de materia seca. De la misma manera, el rendimiento de un producto y la acumulación del nutrimento en los productos cosechados, tienen generalmente una relación directa. Si la "proporción de rendimiento del producto" es la unidad para comparar la productividad de cultivos múltiples, se puede decir que la "proporción de rendimiento de los nutrientes" (ejemplo: Kg N/ha/día) es un "punto inicial" lógico, para estimar los requerimientos totales de nutrimentos en un sistema de cultivos múltiples. Por ejemplo, si el sistema de cultivo "X" dura 300 días y extrae nitrógeno en una proporción bruta de 1.5 kg/ha/día, la cantidad de nitrógeno proporcionada al sistema tendría que ser en total 450 Kg/ha. La manera por la cual este nitrógeno se proporciona (N nativo del suelo, N fijado biológicamente, o proveniente de fertilizantes) depende de factores que no pueden ser generalizados (especies de cultivos, ciclo vegetativo de las especies, épocas del año, sistemas cronológicos, etc).

1/ Presentado a la Reunión de Expertos sobre el uso de fertilizantes en sistemas de cultivos combinados (FAO) New Delhi, India. Feb. 1-6, 1982.

2/ Profesor asociado Departamento de Suelos - Universidad Estatal Carolina del Norte, Raleigh, N.C. 27650, EE.UU.

3. Sin embargo, los datos que se refieren al rendimiento bruto no dan informaciones suficientes para manejar el esquema de fertilización de cultivos múltiples. Las cantidades de nutrientes acumulados cambian en una forma drástica durante el ciclo reproductivo de la planta y son esenciales los datos cuantitativos sobre la dirección y la importancia de estos cambios ontogenéticos.

Mientras que las proporciones de acumulación de nutrimentos a una escala absoluta tienden a ser paralelas al ritmo de crecimiento de la planta, la proporción de acumulación por unidad del peso existente de la planta puede ser de igual importancia. Nuestras medidas demuestran que esta tendencia tiene una forma decreciente durante la ontogénesis. Por eso indican que las plantas atraviesan una "fase de concentración de nutrimentos" al principio de la época de crecimiento, y que un aporte "alto" de nutrimentos en las plántulas puede ser crítico para el crecimiento subsecuente y el rendimiento definitivo.

4. Una combinación de sistemas de colocación de fertilizantes y de distancia entre surcos pueden ser utilizada en forma eficiente en el manejo de nitrógeno en cultivos intercalados de leguminosas con no-leguminosas. Cuando se plantaron maíz y soya en pares alternos de surcos con 48 cm de distancia, la colocación de nitrógeno entre los pares de surcos de maíz eliminó virtualmente la competencia de la soya por el nitrógeno, el cual es un insumo caro.
5. Un concepto que llamamos el Índice de Equivalencia Area-Tiempo (ATER) se propone como una medida exacta del punto de vista matemático y lógica del punto de vista biológico para comparar la productividad de dos o mas sistemas de cultivos.

INTRODUCCION

Cuando estaba reflexionando sobre la manera de la cual podría cumplir con la misión que yo acepté con tanto gusto en el mes de Octubre pasado, me pareció que un buen punto para iniciar podía ser el punto con el cual terminé una presentación en la misma materia más o menos hace dos años (McCollum, 1979).

Alguno de Uds. también estaban presentes en aquella reunión. En ese momento, terminé mi charla más o menos con las siguientes palabras:

"La decisión de producir sólo uno o varios cultivos por año y la decisión de que manejo aplicar para mantener regímenes nutricionales adecuados para las plantas, implican preguntas sobre las dosis, las epocas, las fuentes y los sistemas de aplicación de las enmiendas al suelo"

También afirmé que "en mi opinión generalmente la fertilización de los cultivos intercalados es menos problemático que la buena sincronización entre las especies cultivadas y el clima.

Hoy, mi propósito es más extenso. Pero con respecto a si el terreno tenga cultivos múltiples bajo la forma de monocultivos consecutivos, o que tenga cultivos intercalados con el crecimiento simultáneo de dos o más especies económicamente rentables en el mismo campo, nada de lo que he hecho o leído en estos dos últimos años me ha hecho cambiar de idea. Esto no significa que no quede mucho por descubrir en el campo de los cultivos múltiples y de la dinámica de nutrientes. Se debe decir, sin embargo, que los procesos en la planta no cambian porque varios cultivos se siembran en una sucesión rápida, los unos después de los otros; tampoco cambian cuando dos aspectos se siembran suficientemente cerca de otra para poderse llamar cultivos intercalados.

Por otra parte, la cantidad de esta multitud de procesos está fuertemente influenciada por el ambiente de la planta (la luz, el agua, el aporte de nutrimentos, e igualmente por la "competencia" entre plantas vecinas).

Tambien cambian ...muchas veces en forma dramática...según la fase de crecimiento de la planta (ontogénesis). Por eso parece que hay que abandonar la conclusión que, cuando se producen más alimentos a consecuencia de cultivos múltiples (en cualquier forma), la cantidad total de nutrimentos necesarios para optimizar estos distintos procesos en las plantas será tambien mayor. Esto es una manera más complicada de decir que el "rendimiento de los nutrimentos" es proporcional al rendimiento de los productos cosechados.

No estoy seguro que la palabra "dinámica" conviene exactamente para lo que quiero decir sobre los nutrimentos del suelo en situaciones de cultivos múltiples, pero estoy muy contento que esta palabra se encuentre en el título. Para mí, "dinámica" tiene algo que ver con "cambio"; el cambio implica tiempo y el tiempo en relación al cultivo múltiple ha sido una de mis mayores preocupaciones durante los últimos años. Por eso, el tiempo - su uso justificado y una manera apropiada para registrar su transcurso es el asunto que yo hubiera considerado si tuviera que hacer una decisión.

En un artículo reciente sobre tendencias en los rendimientos de cultivos y potenciales de rendimientos, Evans (1980) sugirió que el rendimiento por día podría reemplazar el rendimiento por cultivo como el criterio de rendimiento más importante en muchos países en vías de desarrollo. Yo pretendo que el rendimiento por día siempre ha sido el criterio más importante (quizas el único) en ambientes a bajas latitudes, independiente de que el país sea desarrollado o en vía de desarrollo; y el rendimiento por día, tanto de los nutrimentos de la planta como de los productos de la planta, es la clave de todo lo que sigue.

Investigación significativa reciente

Generalmente, los cultivos múltiples (sea como cultivos intercalados o secuencias de monocultivos), constituyen un fenómeno relacionado con una estación larga de crecimiento. En Carolina del Norte, la estación climática es larga pero definida a causa de las bajas temperaturas. En otras partes del mundo, tanto tropicales como subtropicales, la estación se "determina" por largos períodos secos. En una gran parte del mundo tropical, sin embargo la precipitación es suficiente para soportar un crecimiento de las plantas durante todo el año; y la producción continua de cultivos alimenticios no es solamente factible pero aconsejable desde el punto de vista del manejo.

Mi investigación se sitúa en dos campos:

1. Cómo crecen las plantas (antogénesis de la planta a nivel de campo) y cómo las plantas cultivadas emplean los nutrientes mientras crecen, y
2. El potencial de rendimiento de cultivos intercalados en el ambiente centro-Atlántico, los efectos de fertilización (principalmente fertilización nitrogenada) y otros factores controlables relacionados con la productividad de cultivos intercalados y la interpretación de los datos sobre los cultivos intercalados. Un tercer programa de investigación al nivel departamental ha sido el establecimiento de una agricultura viable y permanente en la parte alta de la cuenca Amazónica (Yurimaguas, Perú) como una alternativa del sistema agrícola migratorio tradicional. Los resultados de estos tres esfuerzos están relacionados con el tópico presente y quisiera exponerles en forma extensiva para ilustrar lo que yo estimo como consideraciones sobresalientes respecto al manejo de fertilizantes en un campo sembrado con cultivos múltiples.

Cultivos Múltiples en Ambientes con Estaciones de Crecimiento Infinitas

Yurimaguas, Perú está cerca de la línea ecuatorial (5° S). La precipitación anual es superior a los 2000 mm, y está más o menos bien distribuida (la evapotranspiración puede ser superior a la precipitación en aproximadamente 30-45 días en la mitad del año). En tal ambiente, no hay una "estación de crecimiento" en el sentido que se le da en regiones templadas porque las especies pueden ser cultivadas durante todo el año. Los cereales alimenticios faltan en Yurimaguas y su importación es demasiado cara. Benites (1981) postuló que se podría cultivar una mayor cantidad de estos productos en un sistema de cultivos intercalados que en monocultivos convencionales componentes de este sistema.

Para verificar esta hipótesis se estudió los siete sistemas de cultivos representados en la Fig. 1 durante 1 año. Cuatro niveles de fertilización de nitrógeno (0, 80, 160, 240 Kg/Ha a los componentes no-leguminosas) fueron aplicados cada uno sobre la base de un cultivo. La duración de los sistemas varió de 278 días (monocultivo de yuca) a 368 días (monocultivos consecutivos de maíz, arroz).

Desde que se inició el estudio el 3 de Enero (1976), lo que he llamado un "ciclo de producción, este puede ser dividido en trimestres que coinciden más o menos con trimestres del calendario.

La duración del cultivo, el rendimiento absoluto de cada cultivo, y la acumulación por cultivo de N, P y K con 80 Kg N/Ha se presentan en el Cuadro 1. Los rendimientos de todos los cultivos y de todos los sistemas estaban prácticamente optimizados a 80 Kg N/Ha.

Indices de Rendimiento-Equivalente: Su uso y su abuso

Mientras que los rendimientos del Cuadro 1, constituyen los datos básicos para comparar las eficiencias de uso de tierra entre los distintos sistemas, estos no pueden ser utilizados directamente porque "no se pueden sumar manzanas y naranjas". Sin embargo, se pueden hacer comparaciones válidas cuantificando los rendimientos en relación a algún parámetro común. Para resolver este dilema interpretativo, se ha desarrollado un concepto que implica índices de equivalentes y de equivalencias de los rendimientos. El índice Equivalente del uso de Tierra (LER)^{*} y el Índice de Equivalencia Aerea-Tiempo (ATER)^{**} son dos parámetros de este tipo. El primero fue desarrollado por Harwood y sus colegas del Instituto Internacional de Investigaciones en Arroz (IRRI, 1974). Y el segundo fue desarrollado por Hiebsch y McCollum (Hiebsch, 1978). Creo que el concepto de ATER puede ser aplicado tanto a la dinámica de nutrientes en los cultivos múltiples como a los rendimientos de los cultivos en este sistema. Antes de utilizar este concepto, sin embargo, quisiera enseñar en detalle su lógica.

La Figura 2, simboliza una hectárea de cultivo intercalado maíz-maní y yuca-arroz (Mz-Mi/Y - A) de Benites y cada uno de los testigos apropiados de monocultivos. Como lo presenta el diagrama, la yuca fue plantada en un cultivo intercalado de maíz-maní, siendo la yuca después intercalada con arroz. Como los rendimientos de todas las especies que responden a N tuvieron rendimientos óptimos a 80 Kg/Ha, los rendimientos absolutos presentados en la Fig. 2 son los promedios de todos los tratamientos con N (80, 160, y 240 Kg/ha).

* LER = LandEquivalent Ratio

** ATER = Area-Time Equivalent Ratio

El maíz intercalado produjo 83% del rendimiento como monocultivo. Los rendimientos relativos ($RY^* = \text{rendimiento intercalado} / \text{rendimiento del monocultivo}$) de maní, yuca y arroz fueron 0.35, 0.51 y 0.32, respectivamente. La suma de los rendimientos relativos de todos los componentes de los cultivos intercalados es la definición de LER. En este ejemplo, LER $(0.83 + 0.35 + 0.51 + 0.32) = 2.01$ lo que implica que el cultivo intercalado Mz-Mi/Y-A usa el campo en una manera, 2 veces más eficiente de lo que harían los monocultivos de sus componentes.

Como LER cuantifica claramente los requerimientos de área de tierra para obtener cantidades equivalentes de cada uno de los productos como monocultivos, no constituye, en el ejemplo presente, una comparación válida entre cultivos intercalados y monocultivos respecto a la eficiencia del uso de tierra. El diagrama y los cálculos correspondientes en la figura 3. ilustran la ineficiencia de LER en este ejemplo así como su limitación para comparar los cultivos intercalados y monocultivos en general. Cada una de las barras en la figura constituye una escala de equivalentes de hectáreas en la dirección vertical y de tiempo en la dirección horizontal. Mientras que el componente de maíz de la combinación Mz-Mi/Y-A produjo 83% del monocultivo correspondiente, el sistema en sí ocupó el campo por 332 días. En otras palabras, una hectárea del cultivo combinado "empleó" el campo por 332 hectáreas/días $(1.0 \text{ ha} \times 332 \text{ D} = 332 \text{ Ha.D})$ para producir 2,860 Kg de maíz, 1,020 Kg de maní, 13,010 Kg de yuca y 950 Kg de arroz. Por otro lado, 0.83 ha de maíz en monocultivo requirió sólo 112 días y por eso 93 Ha.D para producir una cantidad de maíz igual a la del cultivo intercalado. Según una lógica similar, los requerimientos area-tiempo para una producción equivalente de los demás monocultivos de referencia fueron 37 Ha.D para maní, 142 Ha.D para yuca, y 41 Ha.D para arroz (Fig. 3). De esta manera las partes anchuradas de las barras en la figura cuantifican las hectáreas-días "no utilizadas" que no han sido consideradas en el concepto LER. Estas hectáreas-días no empleadas podrían usarse obviamente para sembrar más cultivos y se tendrían que "considerar" en cualquier estimación de la eficiencia del uso de tierra.

* RY = Relative Yield, en inglés

Además de que el índice de Equivalencia área-tiempo (ATER) representa un concepto análogo al LER, resuelve la limitación inherente al concepto LER cuantificando la producción de cultivos en términos de área y tiempo; es decir, el rendimiento = la cantidad de producto por unidad de área por unidad de tiempo. El producto de "área x tiempo" constituye entonces el parámetro apropiado para comparar cultivos múltiples con monocultivos.

Por definición,

$$\text{ATER} = [(RY_a \times t_a) + (RY_b \times t_b) + \dots (RY_n \times t_n)] / T$$

en el cual RY = rendimiento relativo (intercalado/monocultivo)

t = duración (días) del ciclo de crecimiento de los componentes de los cultivos intercalados a, b ... n; y

T = la duración del sistema de cultivos intercalados

Como RY_n es el área del monocultivo "n" requerido para dar una cantidad de producto igual a la que se produce en 1.0 ha por un componente "n" de cultivo intercalado, la ecuación se reduce a la fórmula indicada en la figura 3. Cuando el concepto ATER se aplica al ejemplo presente (Fig. 3) se hace obvio que el cultivo intercalado Mz.Mi/Y-A no fue un usuario más eficiente del área tiempo que los monocultivos de los componentes de dicho sistema. En realidad, una producción equivalente por los cuatro monocultivos fue realizada en 313 Ha.D.

Sobre la base de "productos brutos", las combinaciones Mz-Mi/Y-A fue \pm 6% menos eficiente que los monocultivos correspondientes (Fig. 3).

Tasa de Rendimiento

La sección anterior presentó la idea del índice de rendimiento (en Kg/ha/día) que consideramos como la medida esencial para comparar el sistema de cultivo "A" con el sistema de cultivo "B". En el ejemplo dado, el sistema "A" fue un cultivo intercalado y el sistema "B" estuvo constituido por los monocultivos correspondientes, pero esto fue una coincidencia; la misma lógica vale para cualquiera o para varios sistemas en los que se tenga algún interés.

Por cultivo dentro del Sistema

Es importante saber como una especie dada de cultivo funciona en un sistema de cultivo (o estación) en relación a su funcionamiento en otro sistema. También es interesante saber como el índice de producción de una especie se relaciona a la producción de otra especie (por ejemplo maíz vs yuca). Aunque las especies de importancia económica presentan diferencias de duración en su período vegetativo, así como en la forma del producto cosechado, esta dificultad analítica puede ser resuelta por la idea de índice de rendimiento, a condición de encontrar alguna "unidad común". Para los cultivos considerados en el presente ejemplo, la tasa de producción calórica parece el índice más indicado. Además, si el "rendimiento nutritivo" es definido como la acumulación total de un elemento nutritivo dado (por ejemplo P total) durante un ciclo reproductivo, un índice de rendimiento nutritivo puede ser calculado; y se pueden hacer comparaciones entre especies o especies dentro de sistemas respecto a las demandas de nutrimentos y requerimientos de fertilizantes.

El Cuadro 2 y las figuras 4, 5 y 6 resumen el resultado de la aplicación de esta idea a los 7 sistemas estudiados por Benites (cf. Cuadro 1). Las conversiones calóricas, en calorías por Kg del producto comercial, fueron como siguen: Maíz - 3432; arroz - 3615; maní - 5590 y yuca - 1615 (Ministerio de Agricultura 1968). Los "rendimientos" de N, P y K calculados por Benites (1981), estiman la acumulación total de estos elementos en las partes vegetativas y el producto por cada cultivo durante 1 ciclo reproductivo.

Las diferencias entre especies son obvias, especialmente en el caso del Índice de rendimiento de nitrógeno (Fig. 4) y eso es el caso de la idea de proporcionalidad entre el "rendimiento" de nutrimentos y el rendimiento de alimentos que expliqué inicialmente. Es particularmente interesante de ver el lugar que ocupa la yuca en las tendencias de los rendimientos de N, P y K relativos a la producción de calorías (Figs. 4, 5 y 6). El alto índice de producción de calorías por esta especie se realiza aparentemente con demandas relativamente más pequeñas de los nutrimentos mayores que en otras especies.

Por Sistema

El índice de rendimiento (no solamente del producto sino también de los nutrientes) en una especie dada es importante desde el punto de vista práctico y biológico, pero no es suficiente para tomar decisiones justificadas en situaciones de cultivos múltiples. Cuando el cultivo múltiple es factible, la unidad de comparación es el mismo sistema y no un cultivo dentro del sistema.

Desde que los sistemas así como las diferentes especies de cultivo tienen duraciones diferentes, el concepto de tasas de rendimiento parece igualmente apropiado.

En el ejemplo de Yurimaguas, los rendimientos de los sistemas de cultivos fueron obtenidos convirtiendo los rendimientos a equivalentes calóricos y haciendo la suma de todos los cultivos en cada sistema durante un ciclo de producción.

Los rendimientos de N, P, K y la materia seca fueron obtenidos de la misma manera; y los índices de rendimiento (en cal/ha/día) fueron calculados dividiendo el "rendimiento del sistema de cultivos" por la "duración del sistema de cultivos".

Las tasas de rendimiento de N, P y K tuvieron poca correlación con el índice de rendimiento calórico (esto no sorprende tal vez considerando las especies estudiadas). Pero las tasas de rendimiento para nutrientes y las calorías presentaron una correlación positiva con el índice de producción de materia seca. La figura 7 muestra estas relaciones. Todas las dosis de fertilización nitrogenada (0 a 240 Kg/ha/trimestre) fueron incluidos en este ejercicio, pero los resultados fueron idénticos cuando solo se emplearon los 2 primeros niveles de nitrógeno (0 y 80 Kg). El índice más alto de rendimiento de materia seca obtenido con tres cultivos continuos de monocultivos de maíz (Mz Mz Mz, 327 días) a 160 Kg/N/ha/cultivo, mientras que el más bajo fue en el cultivo intercalado Mz-Mi/Y-A sin nitrógeno.

Factores de Conversión

El Cuadro 3 presenta lo que hemos llamado "factores de conversión" para las cuatro especies estudiadas por Benites (1981) en el ambiente de Yurimaguas. El índice de cosecha (peso del producto seco/peso seco total) en el maíz es más bajo de lo que esperamos en climas templados (aproximadamente 50% del de Carolina del Norte). También parece bajo en el caso de arroz, pero la característica principal de los datos del Cuadro 3 es el efecto casi insignificante del sistema de cultivos sobre los factores de conversión para los tres nutrimentos más importantes. El maíz produjo más grano por unidad de P acumulado durante el primer y segundo trimestre que en el tercero, y el arroz fue aparentemente un usuario de P más eficiente durante el tercer trimestre. Pero no existe una prueba obvia que el cultivo de estas especies en mezclas (intercaladas) tuvo efectos drásticos sobre la eficiencia de la utilización de nutrimentos.

Equivalente de rendimientos de calorías y nutrimentos en el ambiente de Yurimaguas

El Cuadro 4 muestra los efectos del sistema de cultivos y de la fertilización nitrogenada sobre los requerimientos de área-tiempo para rendimientos equivalentes de calorías y de nitrógeno en el ambiente de Yurimaguas, también se presenta el efecto de P y K (el promedio de todos los niveles más los niveles de nitrógeno). Debido a su consistencia, el cultivo intercalado maíz-arroz/yuca-maní (mz-A/Y-Mi) se ha tomado como una referencia standard.

Como ejemplo interpretativo, uno puede decir que el cultivo Mz-A/Y-Mi sin nitrógeno es un productor de calorías más eficiente que cualquier otro sistema sin fertilizantes excepto el monocultivo de yuca porque todas las demás entradas en la columna N-cero son iguales o superiores a 1.00. Es también aparente decir que el sistema continuo de maíz Mz Mz Mz sin nitrógeno es el menos eficiente en términos de producción de calorías porque los resultados demuestran que tomaría 1.81 Ha.D para producir el número de calorías producidas en 1.00 Ha.D por el cultivo intercalado no-fertilizado Mz-A/Y-Mi. Desde el momento que el sistema MzMzMz se fertiliza con 80 o más kg /N/ha/cultivo, sin embargo, es más productivo que el cultivo intercalado Mz-Mi/Y-A. Con una aplicación de 160 kg de nitrógeno, por ejemplo, el sistema

MzMzMz sólo tomaría 74% del área-Tiempo (el ATER para Mz-Mi/Y-A relativo a MzMzMz = 0.74) del cultivo intercalado Mz-Mi/Y-A para un rendimiento calórico equivalente.

Una lógica similar se aplica a los rendimientos de N, P y K y aparente que todos los sistemas excepto el monocultivo de yuca (Y) y el maíz continuo sin fertilizantes (Mz-Mz-Mz) fueron "acumuladores de nitrógeno" más eficientes que el cultivo intercalado Mz-A/Y-Mi. Una razón probable de este resultado es la inclusión de maní en todos los demás sistemas, pero los datos disponibles no permiten este tipo de evaluación. La comparación de maíz continuo (MzMzMz) con monocultivo de yuca (Y) permite una observación particularmente interesante. En este experimento, por lo menos, los índices de rendimiento calóricos para maíz y yuca con 80 Kg N/ha fueron virtualmente iguales, porque los índices por sistema de los rendimientos de N, P y K para Yuca con 80 Kg de N fueron sólo 64%, 54% y 45% respectivamente, del sistema Mz-Mz-Mz con 80 Kg N/cultivo (es decir, Mz-Mz-Mz vs Y para el índice relativo del rendimiento de N = $0.94/1.45 = 0.64$). La hipótesis anterior sobre la alta conversión de energía y la baja demanda de nutrientes por estas especies es de nuevo aparente.

Una característica final de los datos del Cuadro 4 se refiere a una discrepancia aparente de la tasa de rendimientos calóricos del sistema maní, arroz, arroz (Mi-A-A) a altos niveles de fertilización de nitrógeno (160 a 240 Kg/ N/ ha/cultivo al componente arroz). La variedad de arroz fue el IR 4-2, y Benites indica que es "muy susceptible" a la enfermedad del "quemado" (Pyricularia oryzae) bajo altos regímenes de nitrógeno. Como el sistema Mi-A-A tiene dos cosechas de arroz, su tasa baja de rendimiento calórico (y sus altos requerimientos de área-tiempo) es aparentemente un resultado de una aplicación de nitrógeno demasiado alta a los cultivos de arroz. Esta interpretación se justifica por los datos de requerimientos de nutrientes debido a que los índices de acumulación de nutrientes por sistema fueron altos (o tenían equivalentes área tiempo bajos).

Una Nota Interpretativa

Los conceptos de tasa de equivalencia discutidos anteriormente (LER o ATER) fueron desarrollados para comparar la eficiencia de uso de campo por el sistema de cultivo "A" con la del sistema "B". Su finalidad inicial y su uso principal hasta la fecha fue de cuantificar el potencial productivo de ciertos sistemas de cultivos intercalados en relación a los monocultivos de los componentes de los cultivos intercalados. Esto puede todavía ser su uso principal, pero cada concepto es un criterio válido para comparar las eficiencias de uso de campo de cualquier número de alternativas de sistemas de cultivo. LER es útil cuando los sistemas considerados son de igual duración (caso raro) y ATER cuando las duraciones de los sistemas difieren (caso frecuente). Por eso, los datos en el Cuadro 4 constituyen una aplicación del concepto ATER y la serie de números en una columna dada son, en realidad, el ATER para un sistema de cultivos "X" relativo al cultivo intercalado Mz-A/Y-Mi (es decir: $ATER = \frac{Ha.D \text{ del sistema "X"}}{Ha-D \text{ del cultivo intercalado Mz-A/Y-Mi}}$).

Un postulado del concepto ATER es que su valor tendrían que ser 1.00 a no ser que algún componente del sistema explote los factores de crecimiento de su ambiente (agua, luz, aporte de nutrimentos) en forma diferente de los demás componentes. La columna de equivalente hectárea-día para el rendimiento calórico en el caso de una fertilización de nitrógeno prácticamente óptima (80 kg/ha) en el Cuadro 4 soporta generalmente esta hipótesis.

Cultivos Múltiples en Estaciones Determinadas

Los sistemas de cultivos múltiples establecido desde hace tiempo en Carolina del Norte son generalmente de dos tipos:

1) un cultivo de duración corta de hortaliza seguido sea, por un segundo cultivo de verduras (p.eje. pepinillo-pepinillo) o por soya tardía, completando ambos un ciclo de producción durante la estación sin heladas; y 2) un sistema de tres cultivos en un sistema bianual (índice de cultivo = 1.5), generalmente de maíz, un cereal de invierno de grano pequeño, y soya (también tardía). Hemos "resucitado" y estudiado una tercera alternativa durante los últimos años resucitado porque fue una práctica "a la moda" en el Sudeste y en una gran parte de la región maicera hace unos 30 a 50 años (antes de la época del nitrógeno barato); y estudiado porque podría ser valioso en una época de nitrógeno caro y de terrenos escasos. El sistema consiste en maíz intercalado con

soya. En nuestro medio ambiente el maíz madura alrededor de la mitad de agosto con aproximadamente 50 a 70 días sin heladas. Por otra parte, la acumulación neta de energía, en las semillas de soya permanece positiva casi hasta el comienzo de las heladas. Plantando estas especies como un cultivo intercalado, explotamos virtualmente la totalidad de la estación sin heladas.

Hemos estudiado otros cultivos intercalados (maíz-frijol; sorgo-soya) pero el sistema maíz-soya parece más atractivo como una alternativa de manejo posible para productores locales.

La figura 8 y el Cuadro 5 resumen en forma general los resultados que hemos obtenido hasta la fecha. No voy a entrar en más detalles, pero yo quisiera ahora dar mi punto de vista respecto a los cultivos múltiples a través de los cultivos intercalados versus los cultivos múltiples realizados bajo la forma de monocultivos consecutivos. Por eso quiero emplear algunas de las medidas que hemos efectuado respecto a los fenómenos de crecimiento durante la ontogénesis para ampliar mis discusiones anteriores respecto a los índices de rendimiento.

Cultivos Múltiples Intercalados y no-Intercalados

El título de esta sección fue premeditado, porque el lenguaje de los que practican los cultivos múltiples, especialmente de los investigadores, es tan confuso, que no existe una manera exacta de aislar un sistema excluyendo todos los demás. El intento de Andrews y Kassam (1976) para clarificar la terminología ayudó un poco y Kass (1978) hizo otro intento de formular definiciones; pero la confusión permanece. Lo que yo quiero es dar mi opinión personal, tal vez un poco subjetiva, sobre la importancia de los cultivos intercalados comparados con una secuencia de monocultivos que es otro sistema de cultivos múltiples (un cultivo aislado = "una variedad de cultivo plantado en forma individual a una densidad normal. Sinónimo con plantación sólida, opuesto a cultivos intercalados", Andrews y Kaman, 1976).

Anteriormente, hice referencia al punto que los cultivos múltiples son un fenómeno de una larga estación de crecimiento. Cuando la estación climática no es marcada (como en Yurimaguas, Perú) o cuando la estación, aunque fija, dura suficientemente como para permitir la terminación de los ciclos reproductivos de dos o más especies, mi opinión es que los cultivos intercalados en una agricultura mecanizada merecen atención. Esta conclusión parece particularmente cierta cuando los productos de interés principal son cultivos alimenticios de corta duración.

Yo creo que existe un consenso general que los cultivos intercalados es un esfuerzo con bajos insumos, tecnología limitada y con uso de mano de obra intensiva. Además, Hiebsch (1980) ha demostrado que las importantes ventajas de los cultivos intercalados reportadas en la literatura existente son engañosas, porque los investigadores no reconocieron el tiempo como un factor crucial en las comparaciones entre cultivos intercalados y monocultivos (las comparaciones se hicieron sobre la base de LER y no de ATER).

Sin embargo, cuando la duración de la época de crecimiento excede el ciclo de producción de una especie interesante pero no es lo suficientemente largo para que se complete el ciclo de producción de un segundo cultivo (sea la misma especie o una especie diferente), yo creo que el cultivo intercalado en alguna de sus formas tiene un mérito real. Esta es la situación que tenemos en Carolina del Norte y en varios de los Estados al centro de la Costa Atlántica. El maíz emplea más o menos el 60% del tiempo de la época de crecimiento sin heladas; la soya emplea el resto del tiempo. Teniendo la soya un proceso de maduración pero con "bastante hojas" debajo de maíz que madura, capitalizamos sobre este tiempo de crecimiento produciendo más o menos 45% de soya. Sospecho que esta es la situación para la mayor parte de los terrenos con cultivos intercalados en el mundo. Aparte de utilizar en forma más eficiente cuando la estación de crecimiento es limitada (demasiado frío, demasiado calor, demasiado seco o húmedo) el cultivo intercalado permite producir un cultivo casi completo de una especie y un porcentaje importante de un cultivo completo de otra especie.

Tendencias Ontogenéticas en los Índices de Crecimiento y de Acumulación de Nutrientes

Las secciones anteriores fueron relacionadas con los índices brutos de rendimiento, tanto de productos como de nutrimentos, durante el ciclo reproductivo de una especie dada o durante el ciclo entero de producción de un sistema de cultivos. Las plantas no crecen a un ritmo constante y además los índices de acumulación de nutrimentos tampoco son constantes y si se consideran sólo los promedios a través de un ciclo reproductivo significa que se ignoran los cambios importantes, muchas veces rápidos y nutricionalmente significativos en el ritmo al cual los procesos vegetativos se producen durante la ontogénesis. Los ritmos de crecimiento y la acumulación de nutrimentos pueden ser estimados por muestreos periódicos a través de todo el

ciclo reproductivo de la planta. Hemos tomado tales medidas para varias especies de cultivos, algunas relacionadas con nuestros estudios de cultivos intercalados y otras para otros objetivos experimentales. Casi todas nuestras observaciones coinciden con dos conclusiones que quisiera presentar respecto a la demanda de nutrimentos por las plantas durante la ontogenésis: 1) El índice de acumulación de nutrimentos (demanda absoluta) es practicamente paralelo al ritmo de crecimiento del cultivo; pero 2) el índice de acumulación de nutrimentos por unidad de peso de la planta (demanda relativa) es una función decreciente del tiempo (y tambien una función decreciente de la fase del crecimiento de la planta).

La figura 9 indica tendencias estacionales del ritmo de crecimiento del cultivo (RCC) y el índice de acumulación total de nitrógeno (IATN) para maíz desde el momento que aparece hasta cerca de su madurez. La figura tambien presenta el ritmo relativo de crecimiento (RRC) y lo que he llamado el "índice específico de acumulación de nitrógeno" (IEAN = Unidades de N acumuladas por unidad de materia seca existente por unidad de tiempo). Datos similares son dados para soya en la figura 10. En todos los casos, el paralelismo entre RCC y IATN es aparente, como lo es la relación estrecha RRC y IEAN. Esta relación de RRC e IEAN a diferentes fases del crecimiento de sorgo está demostrada en la figura 11. La alta correlación entre los dos fenómenos es particularmente aparente durante el crecimiento vegetativo pero menos a partir de la iniciación de la panoja hasta la madurez.

Cordero (1977) trató de determinar la fase de desarrollo en el cual los fenómenos de crecimiento de maíz y de soya intercalados se diferenciaban de sus testigos en monocultivos. Los efectos de aporte de nitrógeno sobre los ritmos de crecimiento y la acumulación de N en maíz ya fueron cuantificadas (cuadro 6), pero no existían efectos medibles del sistema de cultivos (cultivos intercalados o monocultivos), ni hubo una interacción significativa de "tiempo x sistema de cultivo". Como se esperaba, los ritmos de crecimiento de soya fueron seriamente reducidos por el maíz como cultivo dominante que alcanza mayor altura (cuadro 7), pero el desarrollo "normal" de la soya fue interrumpido por una inundación prolongada durante la mitad de la estación; y los efectos del sistema de cultivo sobre los parámetros de índices para soya fueron un poco confundidos con los efectos de la inundación.

Mientras que nosotros no hemos seguido las tendencias ontogenéticas en los índices de acumulación de P y K en los sistemas intercalados, Freitas (1974) midió los índices de acumulación de estos elementos en Phaseolus vulgaris. La figura 12 indica las tendencias ontogenéticas para la acumulación de N y K por esta especie y la figura 13 muestra los índices de acumulación absoluta (IATP) y específica (IAEP) de acumulación de fósforo a 2 niveles de fertilización fosforada.

Los efectos positivos del fertilizante fosforado aplicado en bandas sobre la primera etapa de crecimiento del cultivo están bien documentadas, especialmente si un cultivo es sembrado cuando la temperatura del suelo es baja y en la figura 13 se muestra que el fertilizante fosforado aplicado en banda causó un aumento marcado en el índice de acumulación específica de fósforo (IAEP). Consideradas en conjunto, estas observaciones sugieren que las altas concentraciones de fósforo en el tejido son esenciales para un rápido crecimiento de las plántulas y yo creo que es "un dogma establecido" que este estado es uno de los más críticos en todos los cultivos.

Recuperación del Fertilizante Nitrogenado Aplicado por el Maíz y la Soya en los Cultivos Intercalados Maíz y Soya

Usando nitrógeno marcado para estimar la recuperación de nitrógeno de cada componente del cultivo intercalado maíz-soya. El resumen de nuestros resultados es el siguiente:

Nosotros aplicamos N_{15} con el nitrato de amonio (80 kg N/Ha) a los monocultivos de maíz y soya y a cada uno de los cultivos en el sistema de cultivo intercalado maíz - soya.

El esquema de la siembra y la ubicación del fertilizante nitrogenado se presentan en forma esquemática en la figura 14. El nitrógeno total y el nitrógeno isotópicamente marcado (N_{15}) fueron medidos en el maíz y en la soya al momento de la maduración del maíz.

El Cuadro 8 muestra los datos esenciales de la recuperación del nitrógeno conjuntamente con los estimados de recuperación actual. Cuando los cultivos intercalados de maíz-soya fueron sembrados en pares de surcos alternos a 48 cms. de distanciamiento y con el fertilizante nitrogenado (aplicado en post emergencia y entre los pares de surcos de maíz), según se observa en la

figura 14, el maíz recuperó alrededor del 52% del nitrógeno del fertilizante; la soya intercalada recuperó menos del 3%.

En el otro caso si el cultivo intercalado fue sembrado en surcos alternos simples de maíz y soya (fig. 14), la soya recuperó más o menos 12% del nitrógeno del fertilizante aplicado con solo 35% de nitrógeno recuperado por el maíz. Varias conclusiones con implicaciones importantes respecto a la fertilización nitrogenada en cultivos intercalados de leguminosas y no leguminosas se pueden mencionar:

1. Empleando el sistema de surcos dobles, la no leguminosa que requiere nitrógeno fijado puede ser fertilizada según sus requerimientos "normales de nitrógeno sin que uno se tenga que preocupar de perder el fertilizante caro en la leguminosa que fija N; es decir, cuando el nitrógeno fue colocado entre los surcos dobles de maíz, la cantidad de N del fertilizante absorbida por la soya intercalado fue menos de la cuarta parte de la cantidad de nitrógeno recuperado por la soya en el sistema de surcos simples alternados ($< 3\%$ vs 12%).
2. De la misma manera, el conocido efecto inhibitorio de los altos niveles de N sobre la fijación de N por leguminosas puede ser evitado por el sistema de "colocación de N" empleado en el sistema de surcos dobles.
3. En un sistema de surcos simples alternos, sin embargo, no existe un método de colocación de N que proporcionará nitrógeno al componente no leguminoso; sin hacerlo también accesible para la leguminosa y en vez de proporcionar N biológicamente fijado al cultivo de maíz, estos datos indican que la soya en surcos alternos entraba en competencia directa con el maíz por el fertilizante nitrogenado.

Repetimos este tipo de experimento con isótopos marcados de N, en cultivos intercalados de maíz-soya y sorgo-soya. Los análisis de N total y ^{15}N -N han sido realizados. Los datos se están evaluando por el momento, pero aparece que los porcentajes de recuperación de N de este segundo experimento son consistentes con los resultados ya presentados.

Literatura Citada

1. ANDREWS, D.J., y A.H. KASSAM, 1976. Importance of multiple cropping in increasing world food supplies. p. 1-10. En R.I. Papendick, et al. (ed). Multiple cropping. ASA Spec. Pub. 27. Madison, Wisc.
2. BENITES, J.R. 1981. Nitrogen response and cultural practices for corn based cropping systems in the Peruvian Amazon. Ph.D. Thesis, N.C. State Univ.
3. CORDERO, A. 1977. Principles of intercropping: Effects of nitrogen fertilization and row arrangement on growth, nitrogen accumulation, and yield of corn and interplanted understory annuals. Ph.D. Thesis, Soil Science Department, N.C. State Univ. Raleigh, N.C.
4. CORDERO A. and R.E. Mc Collum, 1979. Yield potential of interplanted annual food crops in Southeastern U.S. Agron. Jour. 71: 834-842.
5. EVANS, L.T. 1980. The natural history of crop yield. Amer. Scientist. 68: 388 - 397.
6. FREITAS, L.E. 1975. Growth analysis of snapbeans (Phaseolus vulgaris L. cv. Bluelake 274) under varying plant populations and nutritional regimes. M.S. Thesis, Soil Science Department. State Univ. Raleigh N.C.
7. HIEBSCH, C.K. 1978. Interpretation of yields obtained in crop mixtures. Agron. Abs.p. 41. Amer. Soc. Agron.
8. HIEBSCH, C.K. 1980. Principles of intercropping: Effects of nitrogen fertilization, plant population, and crop duration on equivalency ratios in intercrop versus monoculture comparisons. Ph. D. Thesis, Soil Science Department State Univ. Raleigh, N.C.
9. IRRI. 1974. Annual Report for 1973. Los Baños, The Phillipines. pp. 15-34
10. KASS, D.C.L. 1978. Plyculture cropping systems: Review and analysis. Cornell Int. Agr. Bull. 32. Cornell Univ.
11. MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1968. Hoja de Balance de Alimentos. Oficina de Estadística, Ministerio de Agricultura, Lima, Perú.
12. Mc Collum R.E. 1979. Fertilizer management practices of intercropping systems. Proc. Adv. Grp. Mtng. on nuclear techniques in Dev. of Fert. and Water Mgt. Practices for multiple cropping systems. Oct. 8-12 Int. Atomic Energy Agency, Vienna.

13. Solorzano, R.P. 1974. Growth analysis of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L Moench) under differing populations and nutritional regimes. M.S. Thesis. Soil Science Department. N.C. State Univ., Raleigh, N.C.

Cuadro 1. Rendimiento de los productos cosechados y acumulación total de N, P, K, por cultivos intercalados y monocultivos durante un ciclo de producción (1978) en Yurimaguas; Perú (Mz=Maíz; A=Arroz; Y=Yuca; Mi=Maní). N=80kg/ha/trimestre en no leguminosas; aplicaciones basales de P, K y cal y micronutrientes según lo requerido para mantener un "alto" estatus (Benites, 1981).

Sistemas de Cultivo y Símbolo ¹	Especies y Trimestre	Duración de Cultivos Días ³	Rendimiento	Acumulación Total		
				N	P	K
<u>Cultivos Intercalados</u>				—— Kg/ha ——		
Mz-A/Y-Mi ²	Mz (1)	112	2240	37	5	31
	A (1)	123	1600	40	9	60
	Y (2-3)	278	13330	82	19	57
	Mi (2)	96	870	59	4	25
Mz-Mi/Y-A	Mz (1)	112	2870	50	7	49
	Mi (1)	107	1090	87	6	42
	Y (2-3)	278	11780	92	22	49
	A (2)	129	1150	40	6	27
<u>Monocultivos Consecutivos</u>						
Mz-Mi-A	Mz (1)	112	3210	64	12	63
	Mi (2)	97	3020	212	14	99
	A (3)	124	4120	93	16	146
Mi-A-A	Mi (1)	107	2910	178	13	88
	A (2)	129	3880	130	25	122
	A (3)	124	3850	98	16	95
A-Mi-Mz	A (1)	123	3750	106	19	140
	Mi (2)	91	2250	214	12	61
	Mz (3)	108	4260	78	23	90
Mz-Mz-Mz	Mz (1)	112	3260	64	9	59
	Mz (2)	103	4840	72	15	90
	Mz (3)	108	5250	93	31	137
Y	Y (2-3)	278	24080	125	25	108

¹ Población de monocultivo (Plantas/ha): Mz=53, 333; A=1, 280,000; Mi=160,000; Y=16,667. Población de cultivos intercalados; cada especie a 66% del monocultivo.

² El símbolo / indica que Y-A o Y-Mi son consecutivamente intercalados entre el primer par de cultivos.

³ Los tiempos de 1 a 5 días entre cultivos no son presentados, pero son incluidos en los cálculos que implican la duración de sistema.

Cuadro 2. Índice de rendimiento (por especie y trimestre) del producto y de los nutrimentos de la planta (N,P,K) en cultivos intercalados y monocultivos durante un ciclo de producción en Yurimaguas, Perú (Adaptado del Cuadro 1)

Sistema de Cultivo		Trimes tre	Índice de Rendimiento (por ha/día)			
			K cal	Kg N	Kg P	Kg K
<u>Maíz</u>						
Mz - A	Cult.inter.	1	69	0.33	0.045	0.28
Mz - Mi	Cult.inter.	1	87	0.45	0.063	0.44
(Mz-Mi-A + Mz-Mz-Mz	Monocultivo	1	99	0.57	0.094	0.54
Mz-Mz-Mz	Monocultivo	2	161	0.70	0.146	0.87
A-Mi-Mz	Monocultivo	3	135	0.72	0.213	0.83
Mz-Mz-Mz	Monocultivo	3	166	0.86	0.287	1.27
<u>Arroz</u>						
Mz - A	Cult.inter.	1	47	0.32	0.073	0.49
A-Mi-A	Monocultivo	1	110	0.86	0.154	1.14
Y - A	Cult.inter.	2	32	0.31	0.047	0.21
Mi-A-A	Monocultivos	2	109	1.01	0.194	0.95
Mz-Mi-A	Monocultivos	3	120	0.75	0.129	1.18
Mi-A-A	Monocultivos	3	112	0.79	0.129	0.77
<u>Maní</u>						
Mz-Mi	Cultiv.inter.	1	40	0.81	0.056	0.39
Mi-A-A	Monocultivos	1	106	1.66	0.121	0.82
Y-Mi	Cultiv.inter.	2	35	0.61	0.042	0.25
Mz-Mi-A	Monocultivos	2	121	2.16	0.143	1.01
A-Mi-Mz	Monocultivos	2	97	2.35	0.132	0.67
<u>Yuca</u>						
Y - A	Cultiv.inter.	2-3	77	0.29	0.068	0.21
Y - Mi	Cultiv.inter.	2-3	68	0.33	0.079	0.18
Y	Monocultivos	2-3	140	0.45	0.090	0.39

Cuadro 3. Indices de cosechas y factores de conversión para N, P, y K para el maíz, arroz, maní y yuca en cultivos intercalados y en monocultivos en el ambiente de Yurimaguas, Perú (adaptado del Cuadro 1)

Sistema de cultivo	Trimestre	Indice Cosecha (1)	Kg producto/Kg nutrientes			
			N	P	K	
<u>MAIZ</u>						
Mz-A	Cult.int.	1	39	61	448	72
Mz-Mi	Cult.int.	1	43	57	410	59
(Mz-Mi-A + Mz-Mz-Mz)/2	Monocultivos	1	36	51	315	53
Mz-Mz-Mz	Monocultivos	2	41	67	322	67
A-Mi-Mz	Monocultivos	3	34	55	185	47
Mz-Mz-Mz	Monocultivos	3	40	56	160	56
<u>ARROZ</u>						
Mz-A	Cult.int.	1	26	40	178	27
A-Mi-Mz	Monocultivos	1	29	35	197	27
Y-A	Cult.int.	2	29	29	192	43
Mi-A-A	Monocultivos	2	27	30	155	32
Mz-Mi-A	Monocultivos	3	39	44	258	28
Mi-A-A	Monocultivos	3	39	39	241	41
<u>MANI</u>						
Mz-Mi	Cult.int.	1	-	13	182	26
Mi-A-A	Monocultivos	1	-	16	224	33
Y-Mi	Cultiv.int.	2	-	16	218	35
Mz-Mi-A	Monocultivos	2	-	14	216	31
A-Mi-Mz	Monocultivos	2	-	10	218	37
<u>YUCA</u>						
Y - A	Cult.inter.	2-3	47	163	702	234
Y - Mi	Cult.inter.	2-3	45	128	535	240
Y	Monocultivos	2-3	50	193	963	223

1) Indice de Cosecha = Proporción de rendimiento de producto (corr. a 0% de humedad sobre materia seca total a la cosecha expresado en porcentaje.

Cuadro 4. Efecto del sistema de cultivos y de la fertilización con N sobre los índices de equivalencia área-tiempo para el rendimiento calórico total de productos comerciales y la acumulación total de N en el ambiente de Yurimaguas (Perú) con los efectos de los sistemas de cultivo para la acumulación total de P y K (adaptado de los datos en el Cuadro 1).

Sistema de Cultivo	Indice (= equivalente ha - día) ¹								N $\bar{80}$ Kg/ha	
	Fertilización con nitrógeno (Kg/ha/cultivo)									
	0	80	160	240	0	80	160	240		
<u>Cultivos intercalados</u>										
Mz-A / Y-Mi	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mz-Mi / Y-A	1.20	1.03	0.99	0.99	0.90	0.81	0.93	0.94	0.94	1.08
<u>Monocultivo consecutivo</u>										
Mz-Mi-A	1.05	1.02	0.96	1.05	0.49	0.59	0.58	0.61	0.83	0.49
Mi-A-A	1.01	1.08	1.27	1.62	0.65	0.60	0.56	0.58	0.79	0.61
A -Mi-Mz	1.19	1.03	0.93	0.96	0.58	0.54	0.50	0.48	0.64	0.57
Mz-Mz-Mz	1.81	0.88	0.74	0.78	1.37	0.94	0.74	0.78	0.67	0.55
Y	0.97	0.83	0.78	0.74	1.64	1.46	1.65	1.57	1.24	1.23

¹ Como el cultivo intercalado Mz-A/Y-Mi es empleado como la referencia, todos los demás datos representan el Índice de Equivalencia Área-Tiempo (IEAT) para Mz-A/Y-Mi relativo a cada uno de los demás sistemas. Ejemplo: IEAT para Mz-A/Y-Mi vs. Y a N-cero = 0.97.

Cuadro 5. Comparación entre el Índice de equivalencia de campo (LER) y el índice de equivalencia área-tiempo (ATER) para cultivos intercalados maíz-soya y sorgo-soya en Carolina del Norte (Macedo y Mc Collum, 1980; resultados preliminares).

<u>Arreglo de surcos¹</u>	Maíz-Soya		Sorgo Alto-Soya		Sorgo Bajo-Soya	
	LER	ATER	LER	ATER	LER	ATER
HSA	1.33	1.01	1.16	0.89	1.01	0.78
HDA	1.36	1.03	1.19	0.96	1.03	0.84
<u>KgN/ha</u>						
0	1.41	1.08	1.31	1.02	1.15	0.92
60	1.28	0.99	1.21	0.96	1.13	0.90
120	1.31	0.99	1.08	0.84	0.92	0.72
180	1.38	1.01	1.11	0.85	0.89	0.70

¹ HSA= Surcos simples alternos de 48cm de espaciamiento de los componentes del cultivo intercalado.

HDA= Surcos dobles alternos de 48cm de espaciamiento de los componentes del cultivo intercalado.

Cuadro 6. Tendencias ontogenéticas en el ritmo promedio de crecimiento y la acumulación de nitrógeno por maíz a dos niveles de fertilización de nitrógeno (Cordero, 1977)¹

Intervalo (T=días después de emergencia)	RPCC ²		IAPT ²		RPCR		IPEAN	
	N=0	N=84	N=0	N=84	N=0	N=84	N=0	N=84
	Kg/m.s./ha/día	Kg/m.s./ha/día	KgN/ha/día	KgN/ha/día	% día	% día	mgN/g.m.s./día	mgN/g.m.s./día
14 - 23	2.8	5.6	0.09	0.18	16.1	22.2	5.40	7.42
23 - 30	18.8	19.0	0.66	0.73	22.7	16.9	8.01	6.54
30 - 40	61.0	94.4	0.99	1.20	15.3	17.6	2.48	3.90
40 - 54	102.9	173.9	0.67	1.84	7.5	8.2	0.49	0.87
54 - 61	172.0	195.6	1.13	2.05	6.2	4.7	0.40	0.49
61 - 68	120.4	216.8	0.82	2.07	3.2	3.8	0.22	0.37
68 - 76	208.1	199.4	1.48	2.01	4.0	2.7	0.27	0.27
76 - 89	129.0	226.2	0.75	1.82	2.0	2.4	0.11	0.19
89 - 103	65.1	165.1	0.55	1.06	0.6	1.3	0.05	0.08
LSD (.05): TX _n		NS	0.93		1.1		0.21	

¹ Datos promedios de 2 monocultivos de maíz y 2 cultivos intercalados de maíz-soya (es decir efectos de "sistema de cultivo" no medibles).

² Símbolos

RPCC : Ritmo promedio de crecimiento de cultivo

IAPT² : Índice acumulación promedio total de nitrógeno

RPCR : Ritmo promedio de crecimiento relativo

IPEAN : Índice promedio "específico" de acumulación de nitrógeno

Cuadro 7. Tendencias ontogenéticas de los ritmos promedios de crecimiento y la acumulación de nitrógeno por la soya en monocultivo y en el cultivo intercalado maíz-soya (Cordero, 1977).

Intervalo (T=días después de emergencia)	RPCC ¹		IAPT ²		RPCR		IPEAN	
	Mono.	Int ²	Mono.	Int.	Mono.	Int.	Mono.	Int.
	kg m.s./ha/día		kg N/ha/día		--- % día ---		mgN/g.m.s./día	
12 - 25	13.6	11.2	0.44	0.31	17.7	16.5	5.78	4.55
25 - 33	32.7	20.0	1.47	0.78	10.6	8.6	4.71	3.34
33 - 40	33.3	18.8	1.88	0.89	6.1	5.0	3.40	2.38
40 - 48	104.6	13.2	3.08	0.00 ³	10.1	2.6	2.91	0.00 ³ /
48 - 61	84.6	00.0	1.07	0.00	4.3	0.0 ³	0.56	0.00 ³ /
61 - 75	61.2	49.4	1.06	1.71	1.9	7.7	0.35	2.69
75 - 82	72.7	35.7	3.04	1.14	2.1	3.1	0.87	0.59
82 - 98	95.3	39.0	2.28	1.06	2.1	2.6	0.52	0.34
98 -110	81.4	33.6	6.10	2.22	1.5	2.1	0.95	1.26
110-126	54.4	00.0	2.15	0.00	0.8	0.0	0.35	0.00
126-145	00.0	79.3	0.00	3.43	0.0	3.0	0.00	1.33

¹ Ver cuadro anterior para símbolos

² Cultivo intercalado con hileras dobles; componente maíz fertilizado con 168kgN/ha

³ Los índices negativos (indicados por cero) en la mitad de la estación son el resultado de una inundación por mas o menos 3 semanas. En este período hubo una disminución en la materia seca recuperable.

Cuadro 8. Recuperación del nitrógeno aplicado en el fertilizante (8 kg N/m², conteniendo 0.0065% ¹⁵N) en el maíz en monocultivo, soya en monocultivo y por cada componente de dos cultivos intercalados maíz-soya (Hiebsch, 1980)

Sistema de cultivo <u>1/</u>	Nitrógeno en la planta en la madurez de maíz		% átomos ¹⁵ N en planta	Nitrógeno de fertilizante		Recuperación (% de lo apli- cado).
	Conc. %	Total (g/m ²)		% del total	g/m ²	
	MAIZ					
Mono. (surcos 96 cm)	0.82	10.58	0.200	44	4.66	58
Mono. (surcos dobles 48 cm)	0.85	9.44	0.192	46	4.34	54
Mono. (surcos 48 cm)	0.77	9.29	0.193	46	4.27	53
Cult. Interc. Mz-S (surcos dobles 48 cm)	0.79	8.18	0.179	50	4.09	51 (54) <u>3/</u>
Cult. Interc. Mz-S (surcos alt. 48 cm)	0.69	6.72	0.211	41	2.76	35 (46)
	SOYA					
Mono. (surcos 48 cm)	2.36	13.73	0.260	26	3.57	45
Cult. interc. Mz-S (surcos dobles 48 cm)	2.43	4.36	0.332	5	0.22	3
Cult. interc. Mz-S (surcos alt. 48 cm)	2.32	3.60	0.265	25	0.90	11

1/ Plantas/ha : Maíz = 49,500 ; Soya = 150,000

2/ % de N total del fertilizante = 100 (A-B)/(A-C), donde A = % átomos ¹⁵N en plantas no marcadas = 0.351%;

B = % átomos ¹⁵N en plantas marcadas; y C = % átomos ¹⁵N en el fertilizante marcado = 0.0065%.

3/ Los números entre paréntesis son la suma del % de recuperación por el cultivo intercalado (maíz + soya)

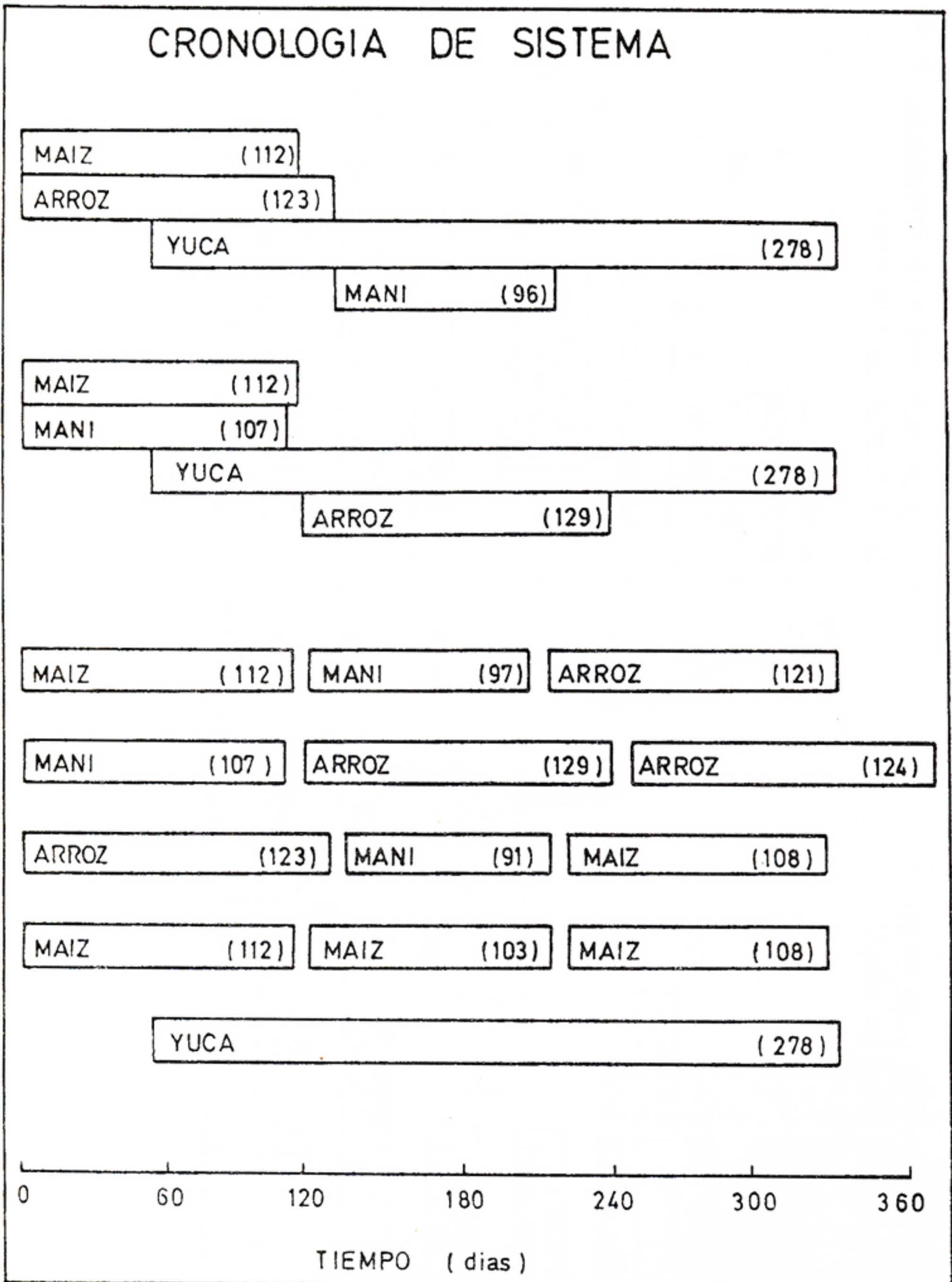
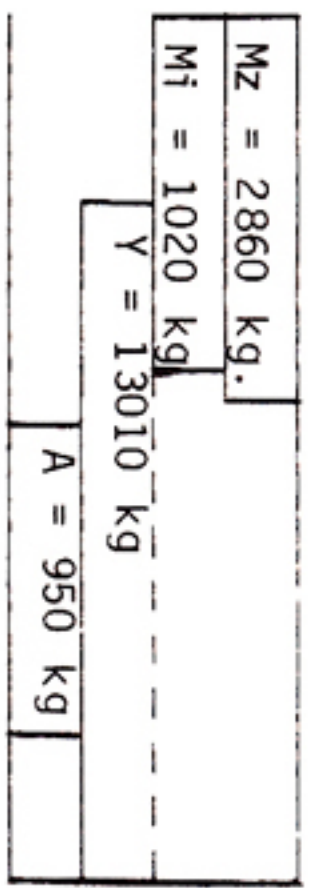


Fig 1 Sistemas de cultivos estudiados por Benites (1981) en 1978 en Yurimaguas Perú. Los números entre paréntisis representan la duración del cultivo.

Rendimientos absolutos ($\bar{N} = 80$ kg/ha)
 Cultivo intercalado (T = 332 días)



Monocultivos de referencia

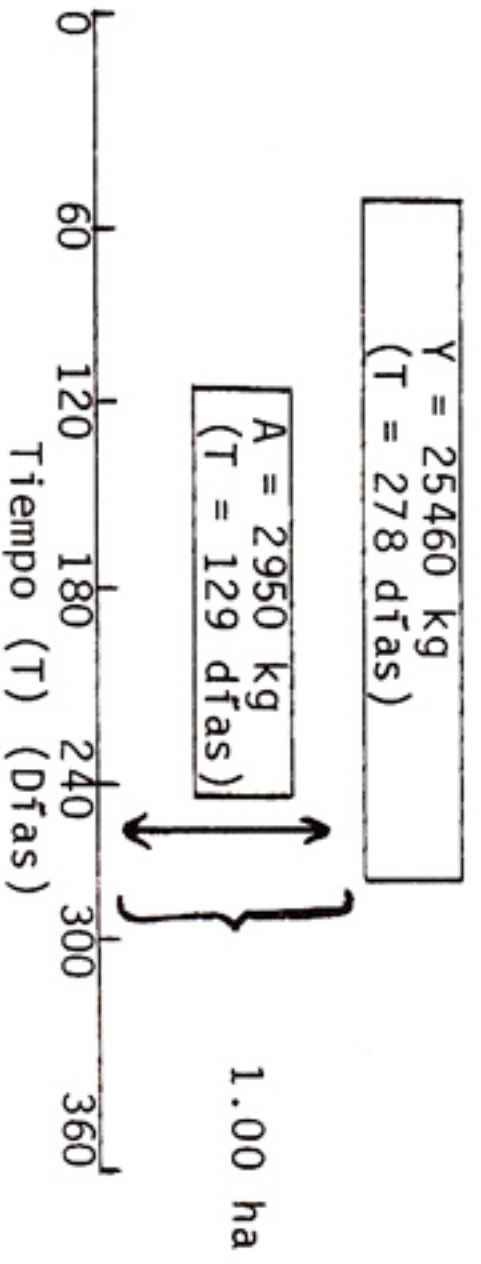
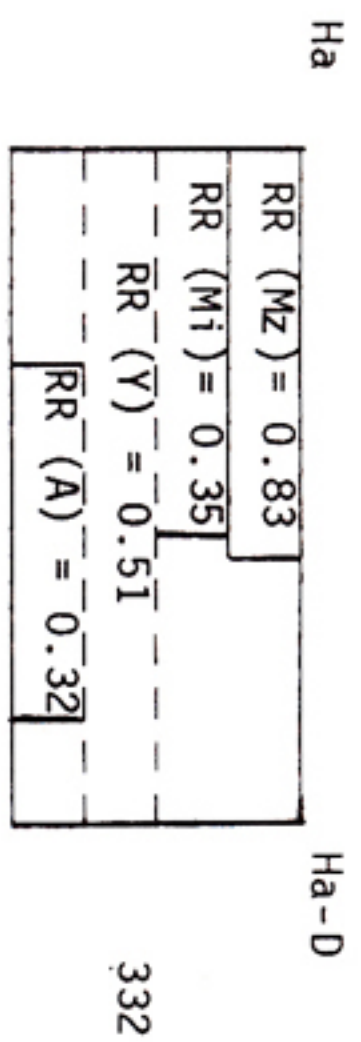


Fig. 2

Rendimientos absolutos de los componentes de un cultivo intercalado Maíz-Maní/Yuca-Yurimaguas, Perú.

- Mz = maíz
- A = arroz
- Mi = maní
- Y = yuca
- D (Fig.2) = Días
- RR = rendimiento relativo=rendimiento int./rendimiento mono.

Indices de equivalencia de rendimientos ($\bar{N} = 80$ kg/ha)
 Cultivo intercalado (332 días)



Monocultivos equivalentes

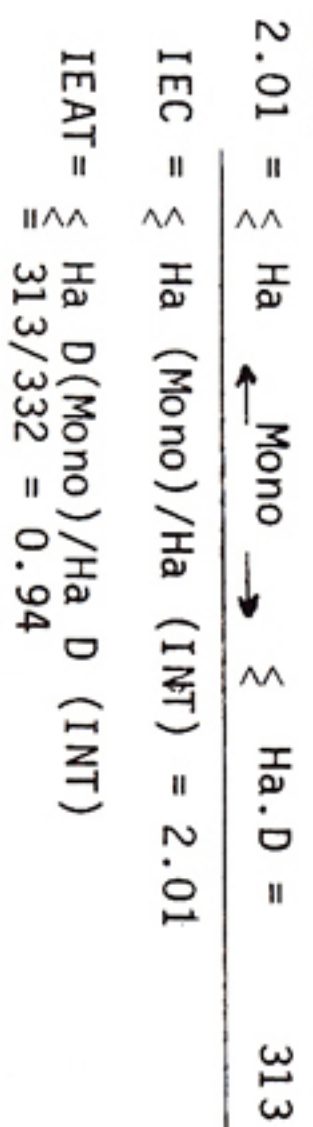
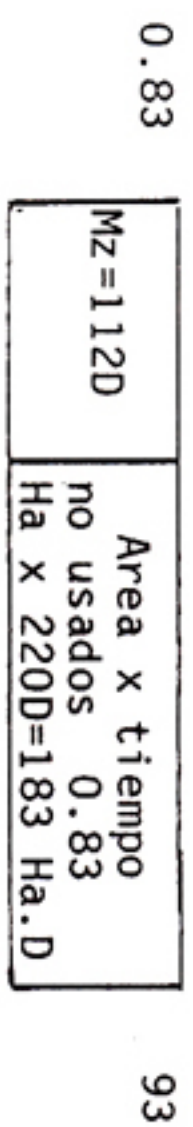


Fig. 3

Comparación entre el índice de equivalencia de campo (IEC) y el Índice de equivalencia área tiempo (IEAT). Derivados de los datos de rendimiento absolutos de 1a Fig. 2.

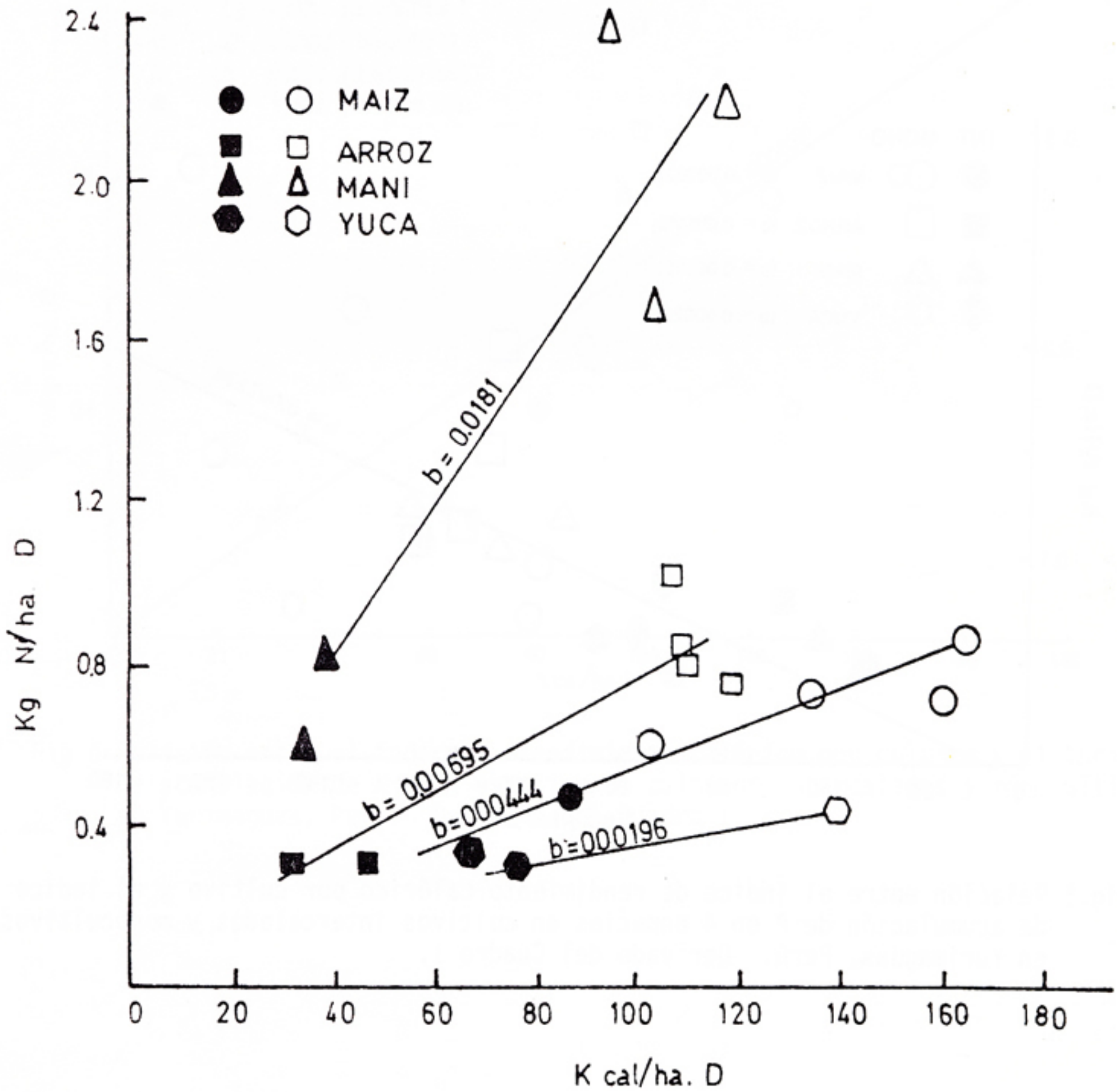


Fig.4 Relación entre el índice de rendimiento calórico por cultivo y el índice de acumulación de N en 4 especies en cultivos intercalados (símbolos llenos) y monocultivos (símbolos abiertos) en Yurimaguas, Perú. Derivado del Cuadro 1.

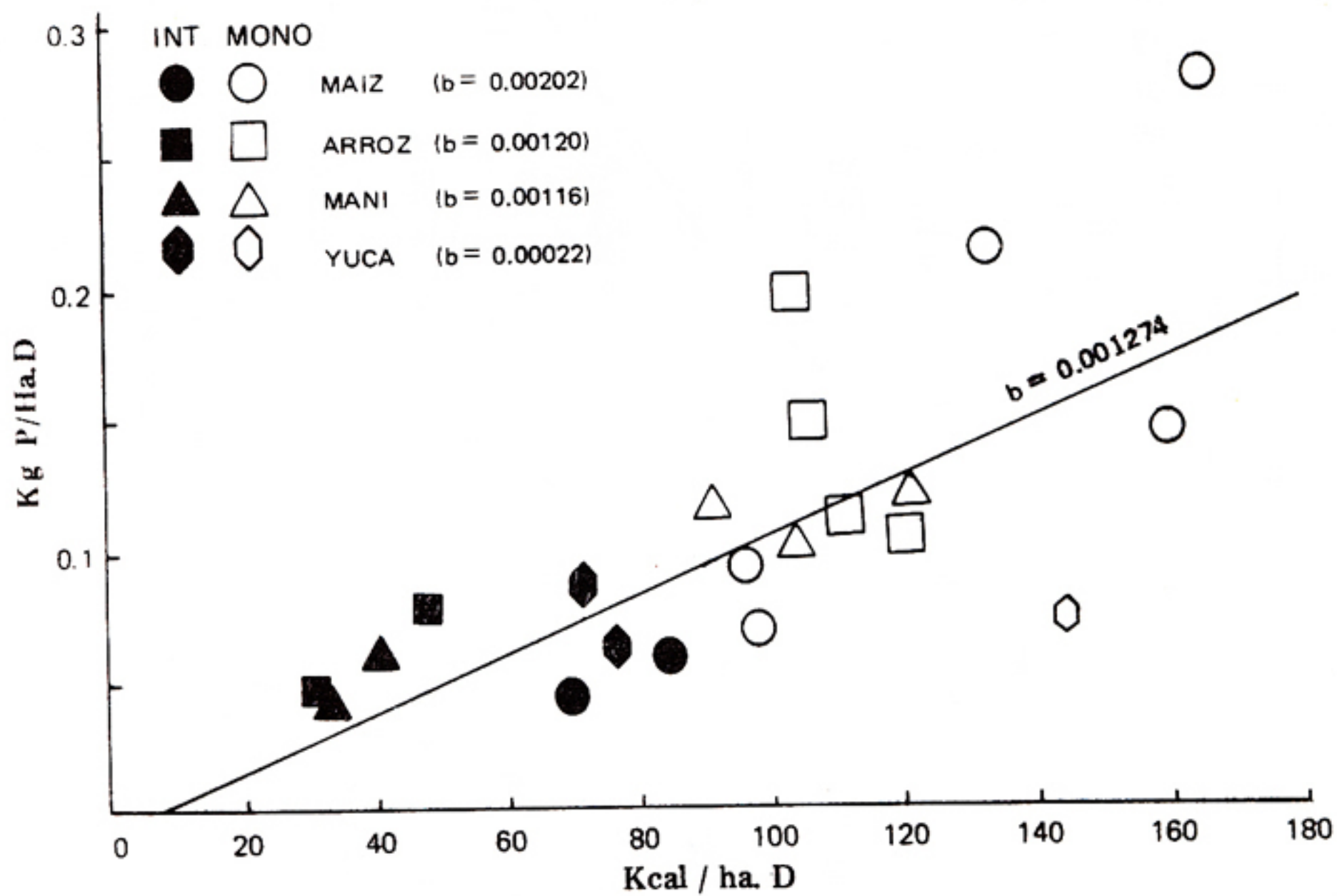


Fig.5 Relación entre el índice de rendimiento calórico por cultivo y el índice de acumulación de P en 4 especies en cultivos intercalados y monocultivos en Yurimaguas, Perú. Derivado del Cuadro 1.

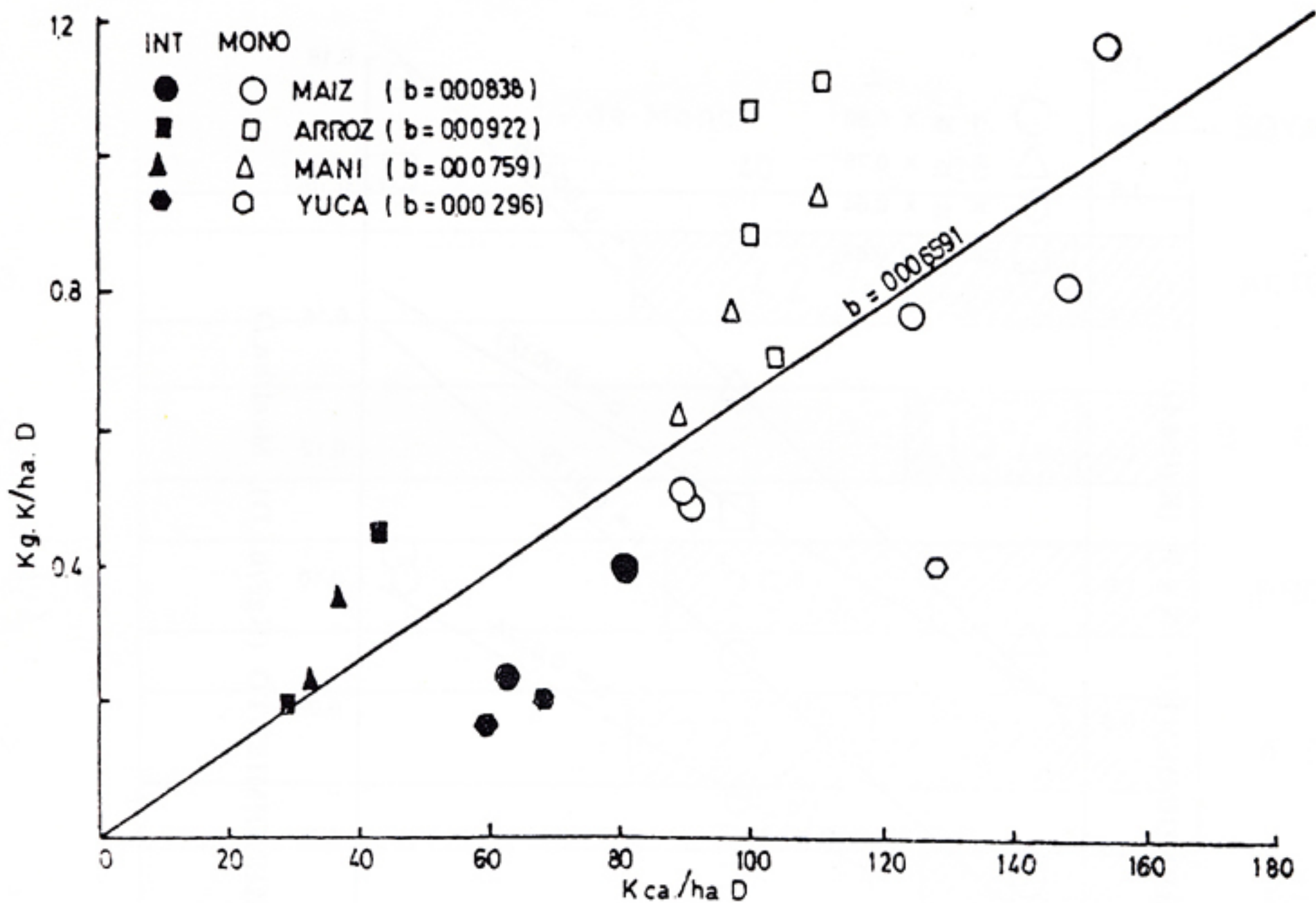


Fig 6 Relación entre el índice de rendimiento calórico por cultivo y el índice de acumulación de K en 4 especies en cultivos intercalados y monocultivos en Yurimaguas, Perú. Derivado del Cuadro 1.

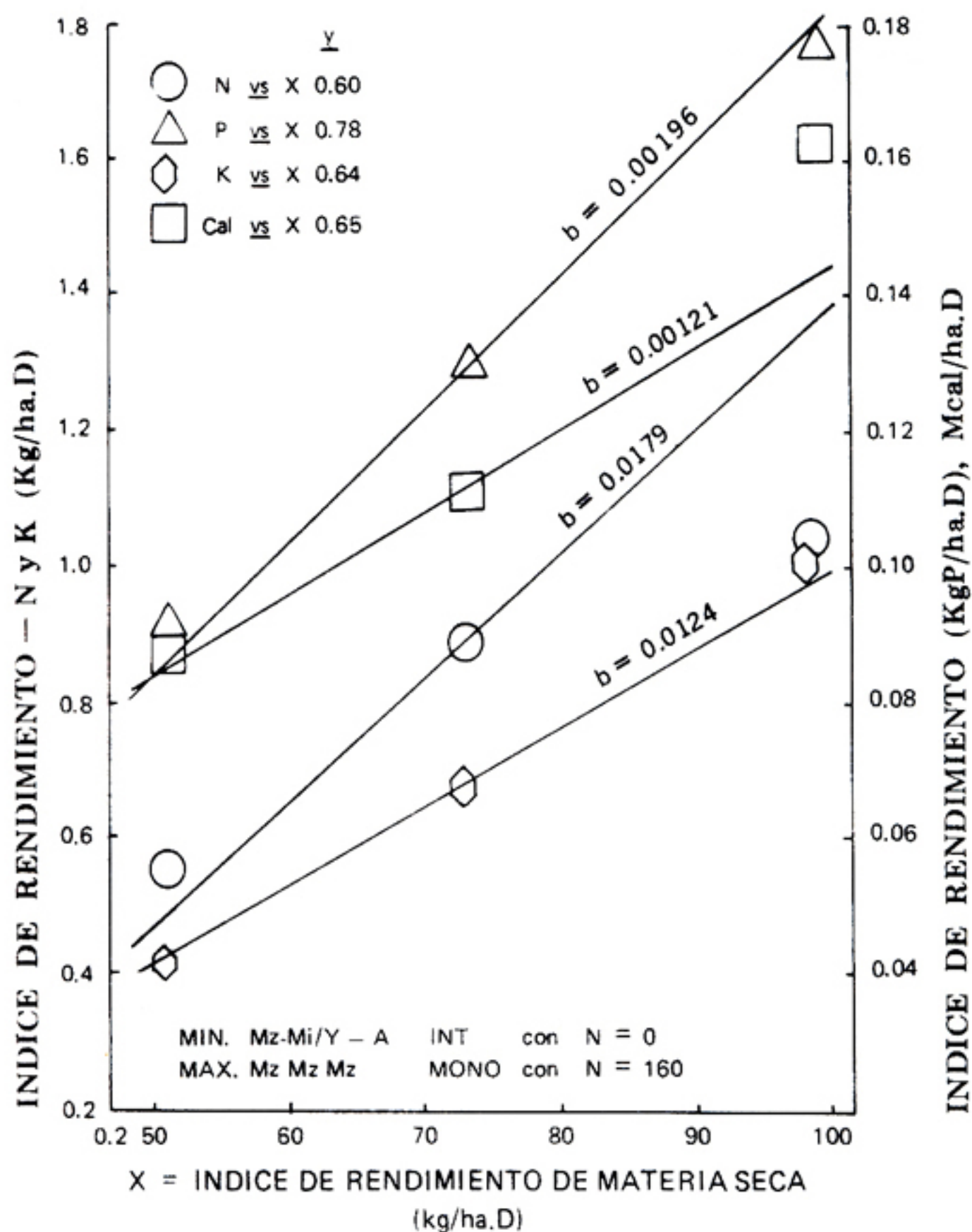


Fig.7 Indices de rendimiento de N. P. K y calorías en función de los índices de rendimiento de materia seca para 7 istemas de cultivos (cf. Fig. 1) estudios por Benites (1981) en Yurimaguas, Perú. Curvas generadas a todos los niveles de fertilización de N. Los simbolos indican el mínimo, promedio y máximo.

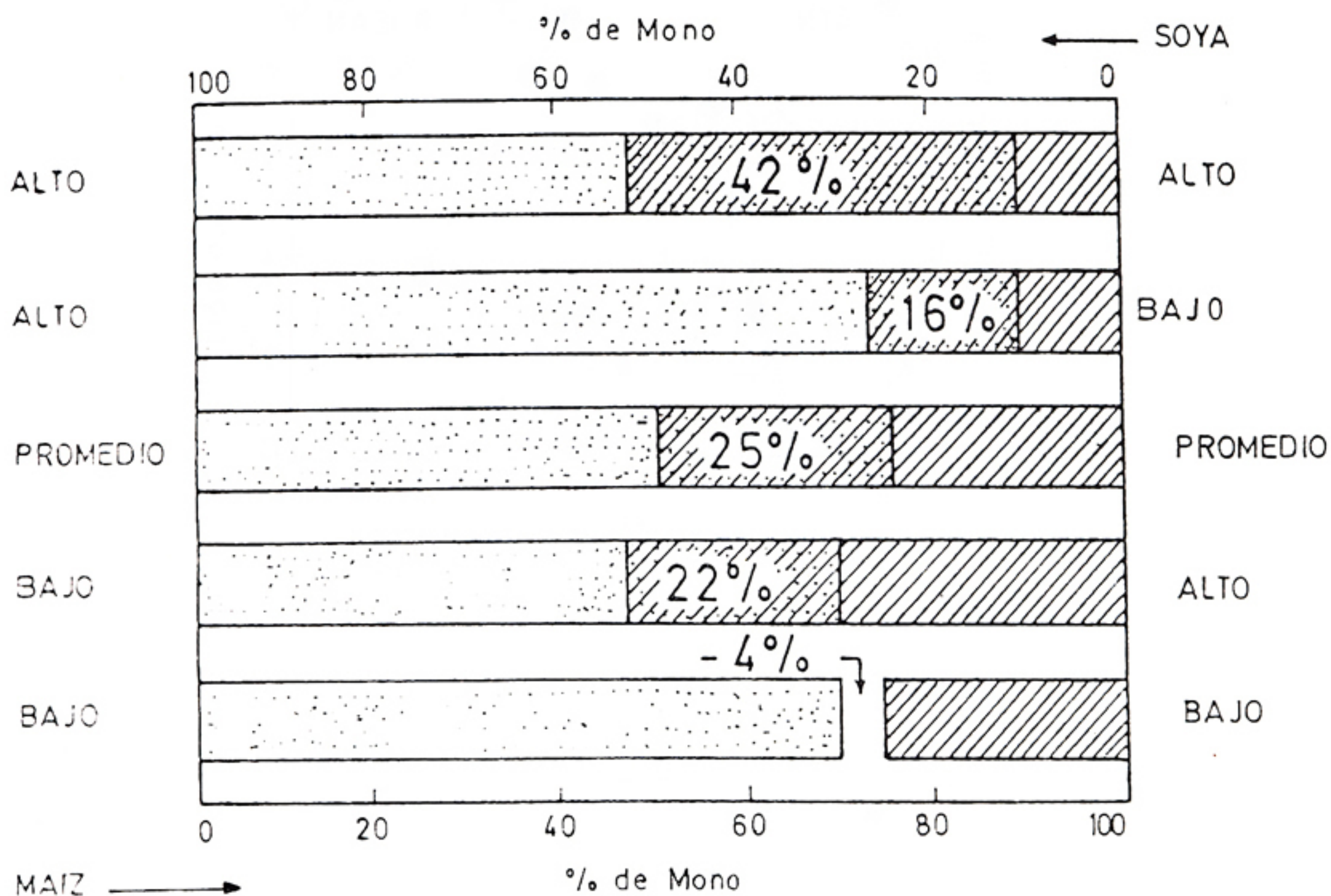


Fig.8 Variación en magnitud de la importancia (segmento de bloques doblemente rayado de la ventaja del cultivo intercalado observada (concepto IER) con cultivo intercalado de maíz-soya en Carolina del Norte (USA). El bloque llamado "Prom" (R_r maíz = 0.76, T_r soya = 0.49) es el promedio del cult. int. con dobles surcos y "N-alto" de 10 experimentos. Ater es "Prom" = $[(0.76 \times 120) + (0.49 \times 168)] / 168 = 1.03$, donde t (maíz) = 120 días, t (soya) = 168 días = T (cult. int.)

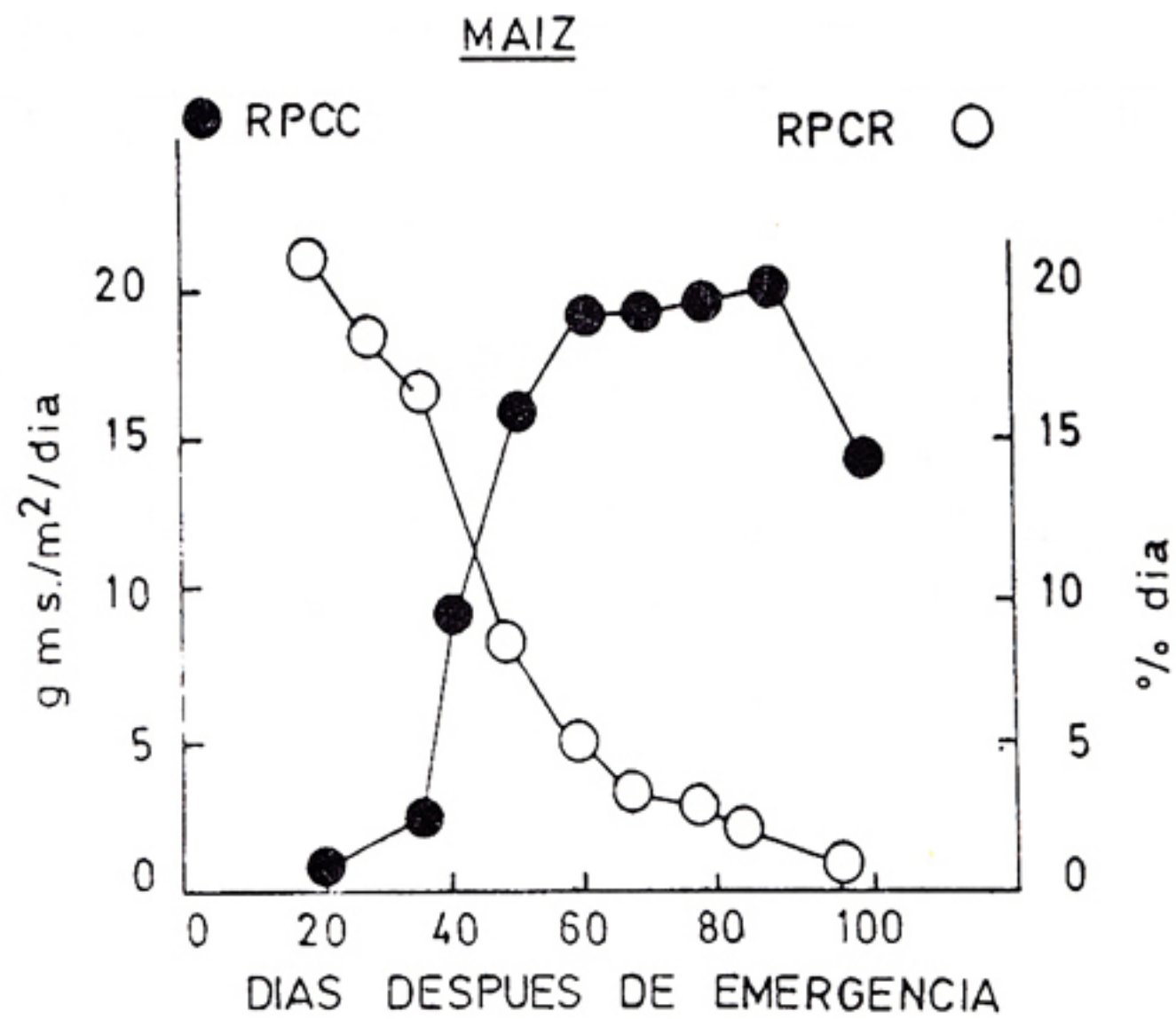
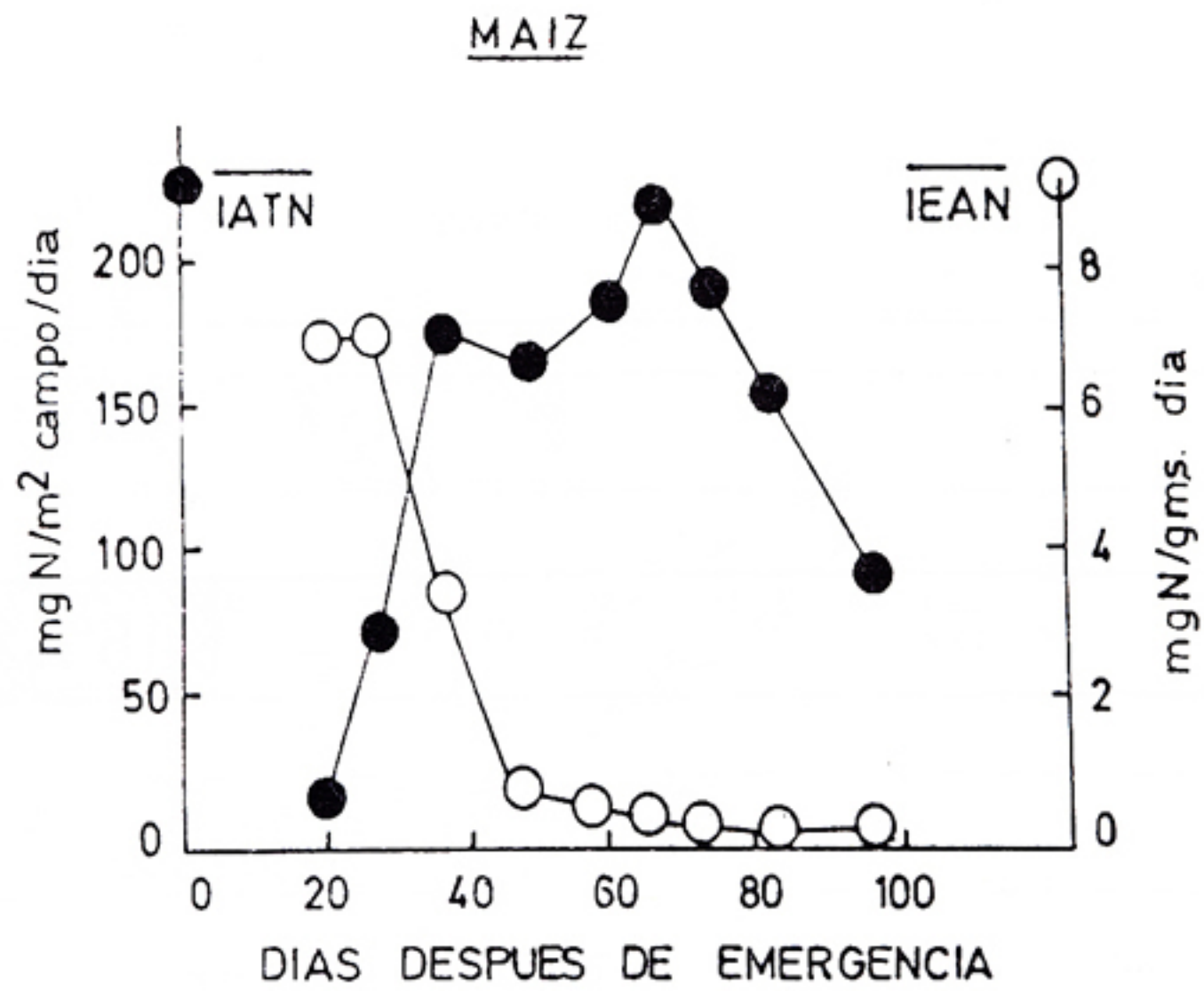


Fig.9 Tendencias ontogenéticas en el ritmo promedio de crecimiento del cultivo (RPCC), el ritmo promedio de crecimiento relativo (RPCR), el índice de acumulación total de nitrógeno (IATN) y el índice específico de acumulación de nitrógeno (IEAN) del maíz en Carolina del Norte (Cordero, 1977).

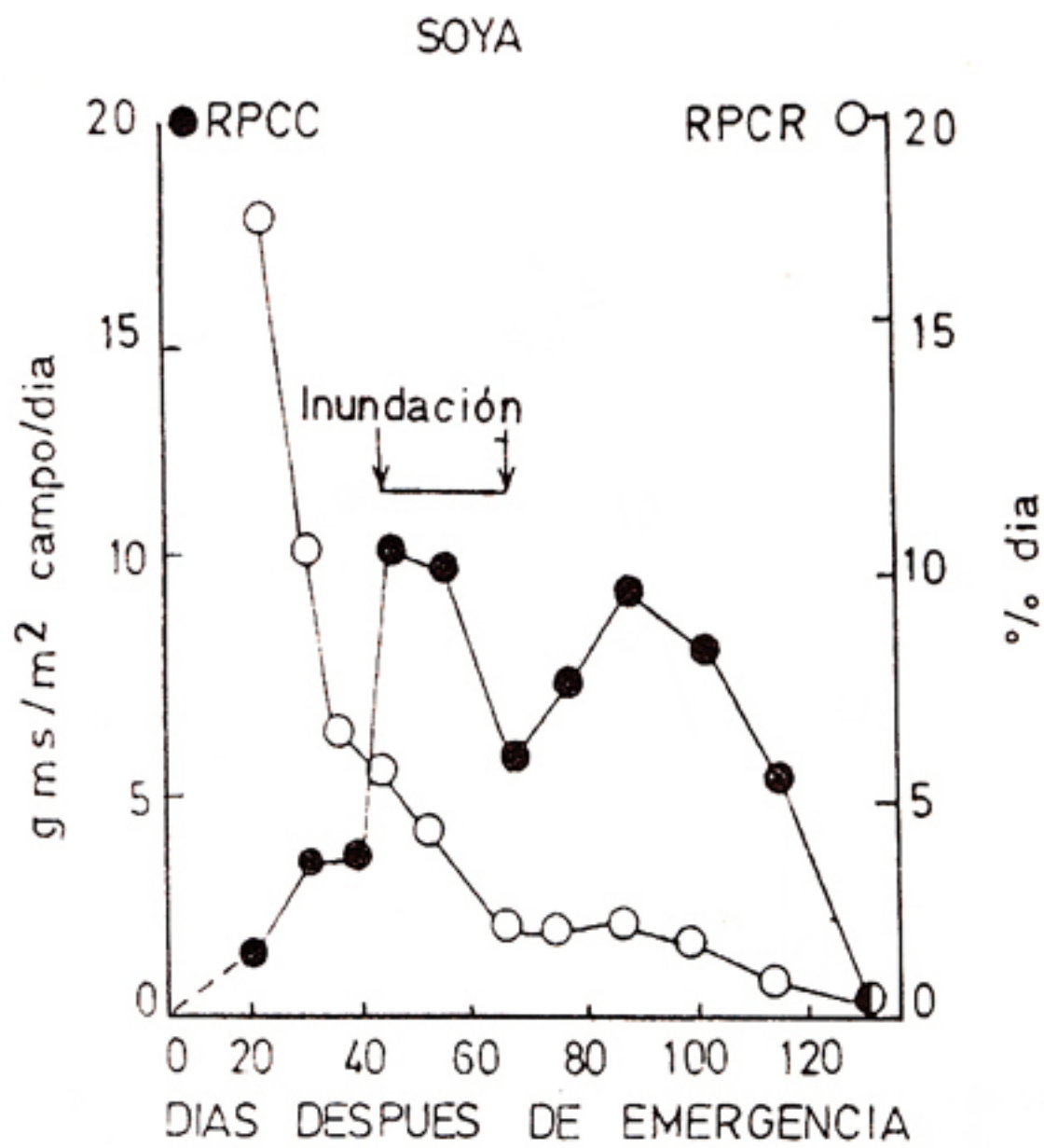
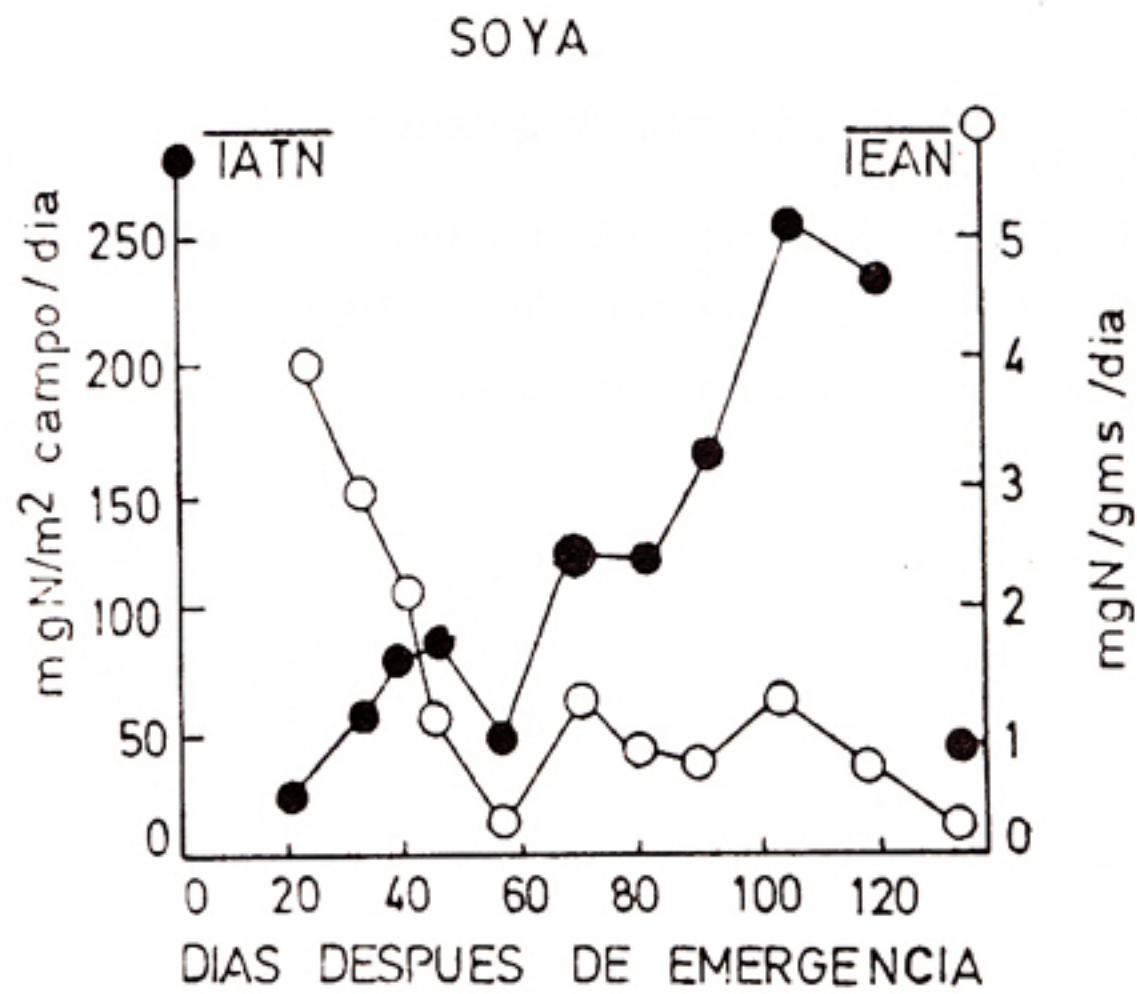


Fig.10 Tendencias ontogenéticas en el ritmo promedio de crecimiento del cultivo (RPCC), el ritmo promedio de crecimiento relativo (RPCR), el índice de acumulación total (IATN) e el índice de acumulación específica promedio de nitrógeno (IEAN) de la soya en Carolina del Norte (Codero, 1977)

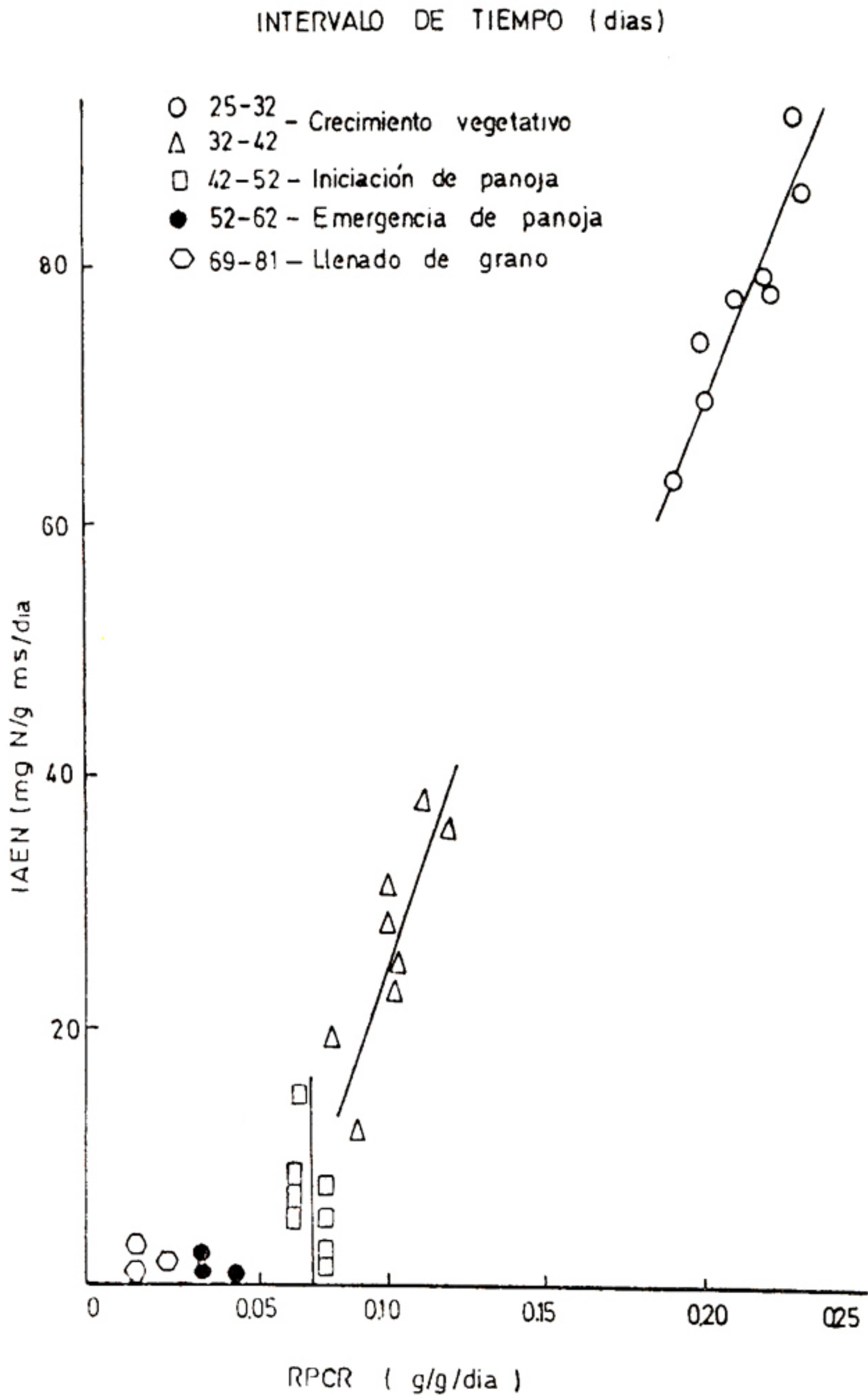


Fig. 11 Relación entre el ritmo promedio de crecimiento relativo (RPCR) y acumulación específica promedio de nitrógeno (IAEN) del sorgo en diferentes fases ontogenéticas. (Solórzano, 1974).

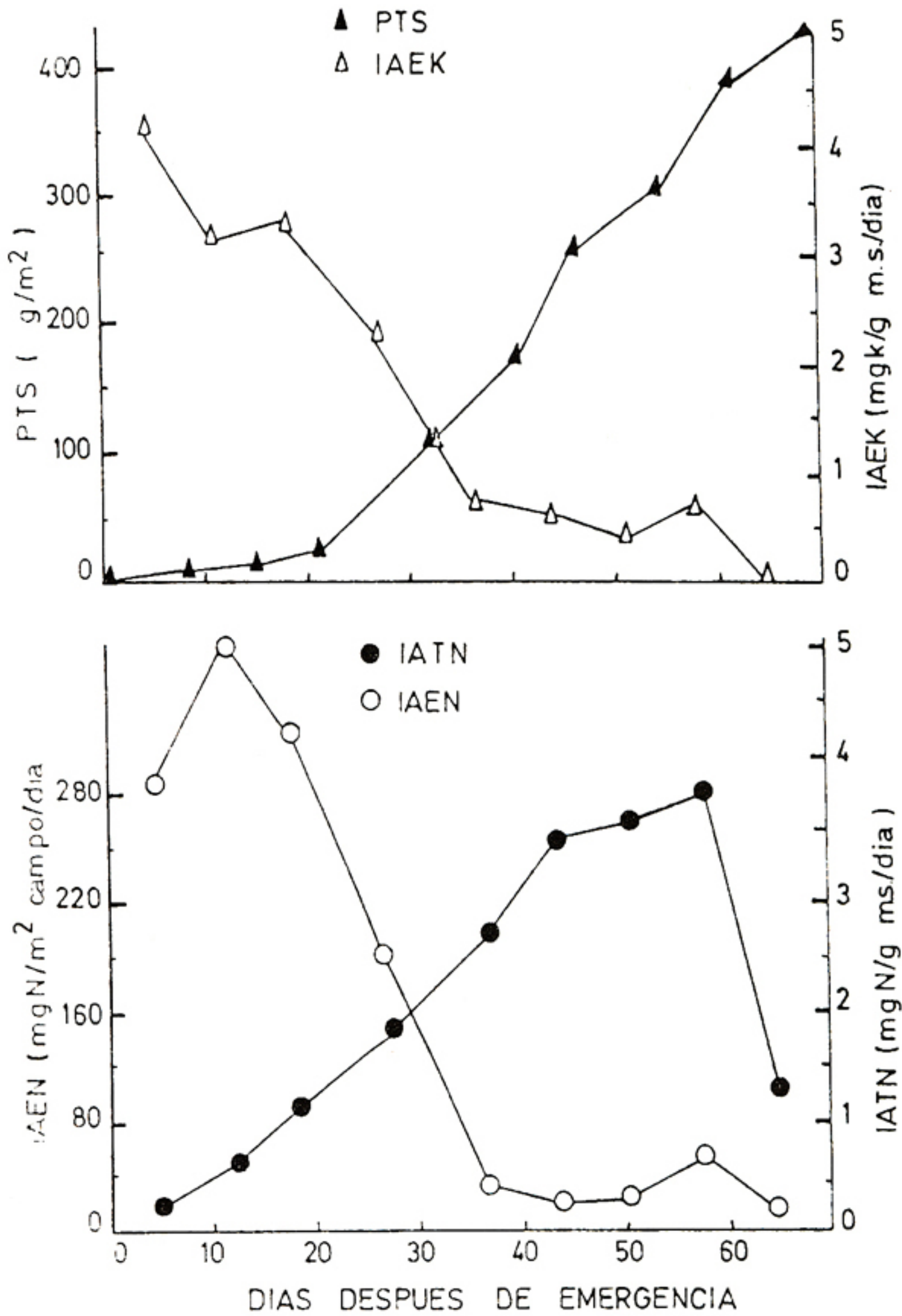


Fig. 12 Tendencias del peso seco total (PST), el índice promedio de acumulación específica de K (IAEK), el índice de acumulación total de N (IATN), y el índice promedio de aculación específica de N (IAEN) del *P. vulgaris* durante la ontogénesis. (Freitas, 1975.)

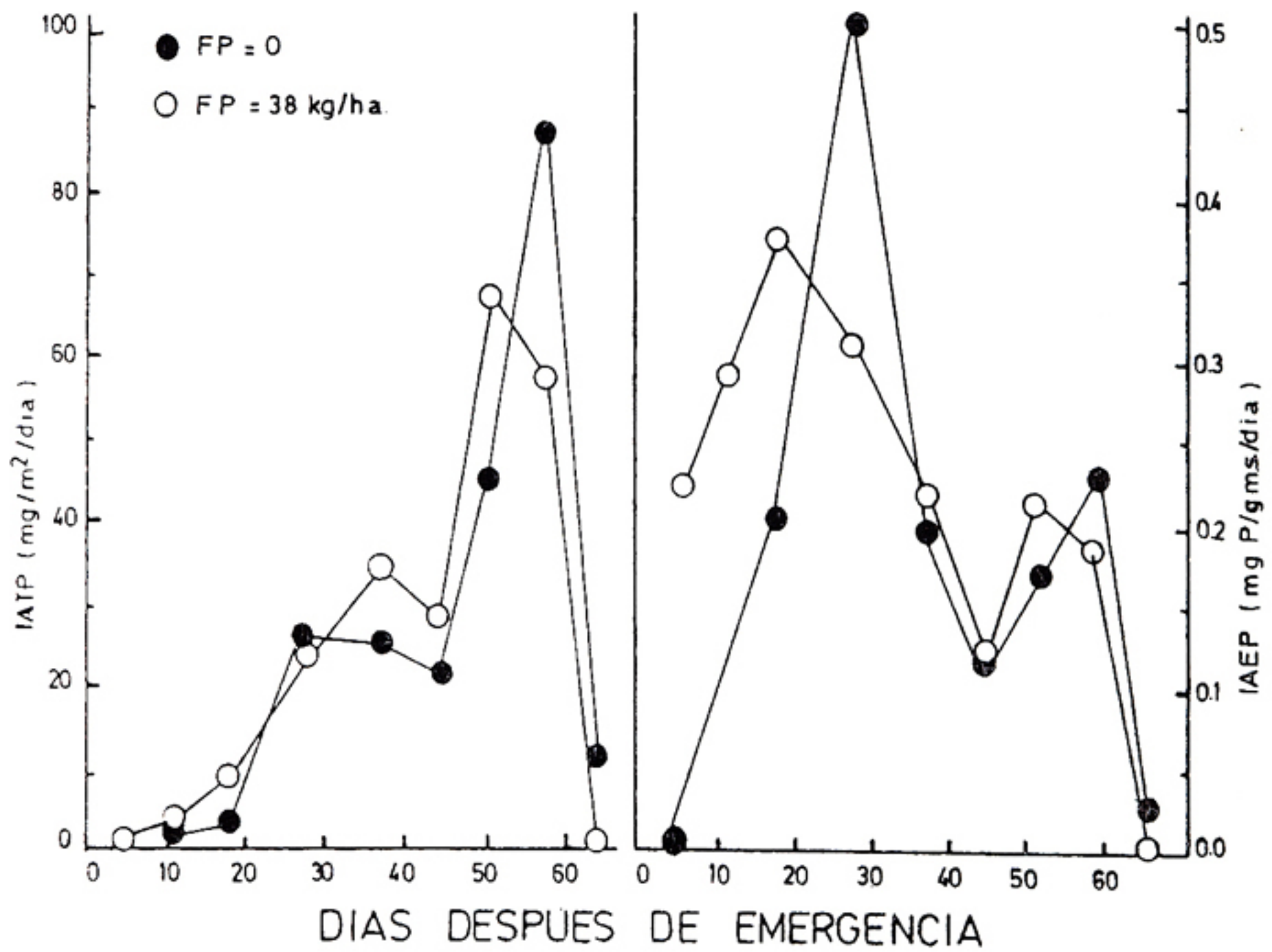


Fig. 13 El efecto del fertilizante fosforado aplicado en bandas sobre el índice de acumulación total de P (IATP) y el índice de acumulación específica de P. vulgaris (Freitas, 1975).

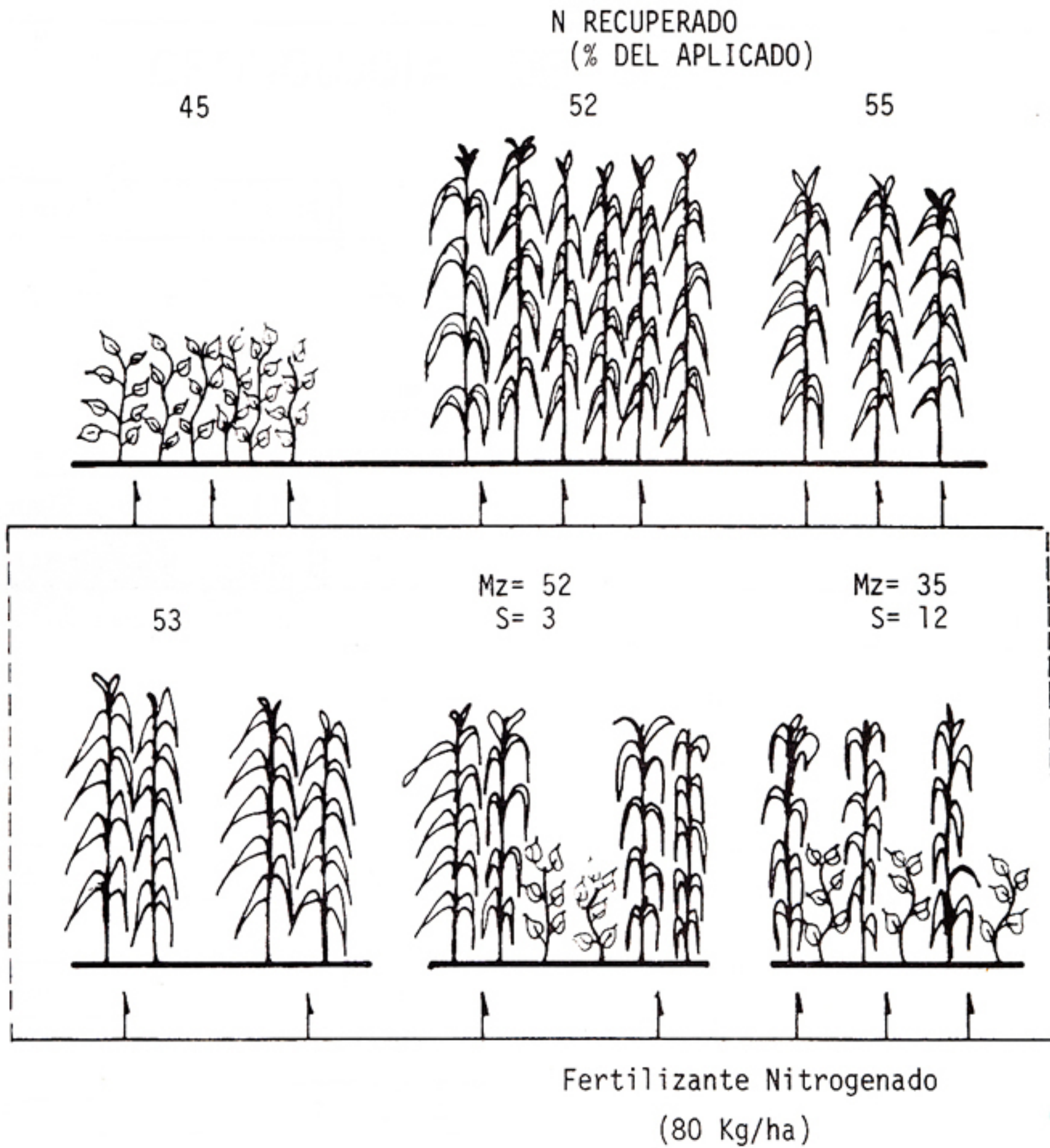


Fig. 14 La recuperación del N, del fertilizante nitrogenado aplicado por maíz (Mz) y soya (S) en monocultivos y cultivos intercalados de maíz-soya (Hiebsch, 1980). Las flechas indican la colocación de IN.
Espaciamiento base de surcos = 48cm.