

RESPUESTA DEL ARROZ (*Oryza sativa*) A LA FERTILIZACION NITROGENADA EN ROTACION CON SORGO (*Sorghum bicolor*) Y SOYA (*Glycine max*)^{1/}*

Mario González **
Carlos Ramírez ***

ABSTRACT

387
196

Agronomic response of upland rice (*Oryza sativa*) to rates of N in rotation with sorghum (*Sorghum bicolor*) and soybean (*Glycine max*). A field trial was planted in Aguirre county, Province of Puntarenas, near Quepos, Costa Rica. Rates of N fertilization (source urea) used, in both rotations, were 0-30-60-90 and 120 kg/ha, in three split applications. The experimental design was a completed block design with four replicates. A positive effect of soybean residues was observed, yield increases were in the order of 1.5 t/ha at all rates of N. The N fertilization equivalent at 0 N of rice after soybean was 75 kg N/ha. The incorporation of sorghum residues reduced N recovery efficiency, 17%, at the rates of 30 and 60 kg/ha as well N efficiency, measured as kg of grain per kg of N applied at the same rates which suggest N immobilization. Therefore higher rates of N are recommended for this rotation. In comparison, incorporation of soybean residues resulted in normal N recovery rate, 30%, and a better N efficiency. Results suggest that the incorporation of soybean residues in combination with recommended rates of N fertilization seem to be a good practice in upland rice. Other advantages of the rotation are also discussed.

INTRODUCCION

La producción de arroz aumenta, tal vez en mayor grado que en otros cultivos, con la absorción del N (De Datta, 1981; Murayama, 1979). La incorporación al suelo de abonos verdes previo al arroz, además de aportar N puede movilizar las reservas de este elemento en el suelo (Wescott y Mikkelsen, 1987) así como los fertilizantes (Broadbent y Reyes, 1971).

En el caso de leguminosas fijadoras de N, los abonos verdes han mejorado la respuesta promedio del arroz en 2 t/ha (Morris *et al.*, 1986). Además, la combinación del residuo y los fertilizantes nitrogenados ha sido benéfica pues el N sustituyó a una cantidad similar de urea al ser incorporado al suelo 15 días antes de la siembra (John *et al.*, 1989). Sin embargo, pocos estudios se han realizado para establecer la interacción entre residuos de leguminosas y los fertilizantes nitrogenados (Hesterman *et al.*, 1987; John *et al.*, 1989).

El cultivo de la soya deriva entre el 25 y el 75% del N asimilado de la fijación de N (Deibert *et al.*, 1979), dependiendo del N disponible y de la fertilidad del suelo (Allos y Bartholomew, 1959). El N en el grano se exporta, sin embargo, asociado a los residuos de cosecha y los restos

1/ Recibido para publicación el 10 de julio de 1990.

* Trabajo financiado por el proyecto de Ciencia y Tecnología AID-CONICIT.

** Instituto Nacional de Aprendizaje. San José, Costa Rica

*** Centro de Protección de Cultivos, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Cuadro 1. Análisis del suelo del sitio del ensayo sobre rotaciones soya-arroz y sorgo-arroz. Quepos, Puntarenas, Costa Rica.

pH H ₂ O	Análisis químico									Análisis físico		
	Ca	Mg	K	Al	P	Fe	Cu	Zn	Mn	Ar.	L	Arc.
	cmol(+)/kg				mg/kg					%		
4,8	13,8	1,9	0,28	0,3	6	43	16	2	59	28	50	22

Textura: Franco a franco limoso. Clasificación taxonómica: Fluventic Hapludoll.

radicales permanecen en el suelo cantidades importantes de este elemento, el cual es eventualmente disponible a un cultivo no fijador de N en rotación.

El maíz y el sorgo en rotación con la soya, por ejemplo, han requerido de menos fertilizante nitrogenado para obtener rendimientos máximos (Peterson y Varvel, 1989a). Además, la producción del maíz se ha incrementado como resultado de la rotación (Peterson y Varvel, 1989b). La rotación es beneficiosa para los cereales y la soya (Dabney *et al.*, 1988), pues el monocultivo en ambos disminuyó la producción (Roder *et al.*, 1988).

El efecto benéfico de la rotación se debe al N presente en el residuo de la soya, de descomposición rápida (Broder y Wagner, 1988) como se ha documentado para el maíz (Power *et al.*, 1986), sin embargo, existen otros beneficios adicionales cuya causalidad precisa se desconoce (Hesterman *et al.*, 1987). Así, la rotación de cultivos mejora la fertilidad del suelo, reduce la erosión, facilita el control de plagas y enfermedades y contribuye a una mayor estabilidad en la producción agrícola (Gangwar y Kalra, 1982; Hesterman *et al.*, 1986; Moore, 1962).

La soya es una opción en algunas áreas de Costa Rica, donde además se siembran gramíneas como el arroz y el sorgo. En el presente trabajo se comparó la respuesta del arroz a la fertilización nitrogenada en interacción con 2 alternativas de rotación: sorgo-arroz y soya-arroz.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se ubicó en la finca del Sr. Omar Quesada, situada a 10 msnm en el cantón de Aguirre, provincia de Puntarenas, Costa Rica, que se encuentra en la zona de vida Bosque Húmedo Tropical (Holdridge, 1979). La temperatura promedio anual es de 25,7°C, con una máxima de 30,8°C y una mínima de 20,6°C. La precipitación

promedio anual es de 3500 mm. El suelo, un Fluventic Hapludoll (Pérez *et al.*, 1979) (Cuadro 1), es de origen aluvial, plano, profundo, de drenaje moderado, y fértil, aunque bajo en P y materia orgánica, con textura franca o franco limosa. El análisis se realizó antes de la siembra del arroz.

El área escogida para realizar el ensayo es de topografía plana y anteriormente se había sembrado sorgo y soya en lotes contiguos. En este sector de la finca tradicionalmente se siembra arroz en rotación con sorgo con pocas siembras recientes de soya.

Se establecieron 2 ensayos de respuesta del arroz variedad CR 201 a la fertilización nitrogenada en estos lotes, en un diseño de bloques completos al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones. El tamaño de las parcelas fue de 5x3 m (15m²) y el de la parcela útil de 8 m². Se dejó un espacio de 2 m entre bloques y de 1 m entre parcelas. La comparación de las variables de respuesta se realizó mediante el método de regresión múltiple de acuerdo a Kelinbum y Kupper (1978).

En ambos ensayos se aplicaron niveles crecientes de urea a razón de 30, 60, 90 y 120 kg N/ha, fraccionado en 3 aplicaciones iguales, al momento de la siembra, al macollamiento (25 días) y en prefloración (75 días). Adicionalmente, se fertilizó con 90 kg P₂O₅/ha como triple superfosfato y 60 kg K₂O/ha como cloruro de potasio. Los rastrojos de soya y de sorgo se incorporaron bajo condiciones climáticas de escasa o nula precipitación (Cuadro 2) durante la primera semana del mes de abril. El cultivo de la soya se había inoculado con Nitragin comercial (Milwaukee, Wis., Estados Unidos) con cepas seleccionadas de *Bradyrhizobium japonicum*. El cultivo de la soya se había desarrollado bien y produjo una abundante cosecha. Las producciones en esta zona oscilan entre 2,3 y 2,8 t/ha (Montero, R. 1990. Comunicación personal).

La preparación del terreno para la siembra del arroz consistió de un pase de arado y 3 pases

Cuadro 2. Registro pluviométrico (mm) diario de observaciones en la estación meteorológica de Quepos, Instituto Meteorológico Nacional, 1985.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre
1	0,0	0,0	68,0	0,0	1,2	10,0
2	0,0	30,8	10,4	0,0	8,0	19,0
3	0,0	0,0	0,4	0,0	4,2	116,4
4	0,0	2,0	4,0	64,2	30,4	2,4
5	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,4
6	0,0	0,0	18,0	2,0	16,2	7,2
7	0,0	40,0	0,0	0,0	40,8	114,6
9	0,0	0,4	17,0	0,0	4,0	78,4
10	0,0	10,0	0,0	0,0	1,8	0,0
11	0,0	19,0	4,0	0,0	0,0	55,2
12	0,0	40,2	2,2	30,0	0,0	7,6
13	0,0	0,2	12,2	6,6	12,8	0,0
14	0,0	12,4	0,0	32,6	0,0	12,6
15	0,0	67,4	42,4	38,0	0,0	84,2
16	0,0	21,6	0,0	0,0	15,2	0,0
17	0,0	14,0	2,6	4,8	52,0	0,0
18	0,0	0,4	4,2	0,0	38,8	0,0
19	0,0	0,0	14,6	0,0	140,2	9,6
20	0,0	0,0	8,2	0,0	22,4	23,2
21	0,0	0,0	2,0	2,4	7,2	4,8
22	0,0	70,2	3,2	0,0	3,8	0,0
23	0,0	0,0	13,4	45,2	8,2	0,0
24	11,0	0,0	6,4	8,6	9,4	18,2
25	4,0	30,4	14,6	40,0	0,0	0,0
26	0,0	5,0	4,0	35,0	70,0	21,2
27	0,9	20,4	0,0	32,6	0,0	36,2
28	40,2	0,0	32,0	4,2	30,0	0,0
29	0,4	4,0	28,4	12,4	28,2	6,2
30	0,0	8,2	0,6	0,0	6,4	30,8
31	—	48,6	—	—	34,7	—

de rastra. El arroz se sembró en forma mecanizada a chorro continuo con una distancia de 18 cm entre surcos. El combate de malezas se hizo mediante la aplicación preemergente de Prowl (Pendimetalin) a razón de 3 L/ha y posteriormente, una aplicación posemergente de Stam LV 10 (Propanil) a una dosis de 5 L/ha.

Durante el desarrollo del cultivo no se presentaron enfermedades, aplicándose solamente el fungicida Kasumin a 1 L/ha al momento de emergencia de la panoja. Se presentó un ataque de gusano minador entre los 60 y los 70 días, que se controló con una aplicación de Tamarón 600 a razón de 1 L/ha. La cosecha se realizó en forma manual a los 127 días después de la siembra.

Las variables evaluadas fueron la materia seca, concentración de N y rendimiento. Con base en los datos de materia seca y su contenido

de N, se estimó el total de este elemento en la paja que, junto con la producción de grano, sirvió para estimar la absorción total. Para la materia seca se tomaron 0,5 m de las plantas del surco/parcela. El N total se determinó mediante el método de Micro Kjeldahl.

La cosecha se realizó manualmente y el grano se llevó a humedad constante (12%) en el Centro para Investigaciones en Granos y Semillas de la Universidad de Costa Rica. La eficiencia del fertilizante se calculó dividiendo el incremento en producción de grano de arroz (kg) por cada incremento de N en fertilizante (kg). La eficiencia del N absorbido (recuperación) en la biomasa se estimó estableciendo la relación de N total en la biomasa por cada incremento de N en el fertilizante, de acuerdo a las dosis ya anotadas.

Cuadro 3. Efecto de los rastrojos de soya (*Glycine max*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) sobre la respuesta en rendimiento del arroz (*Oryza sativa*) a la fertilización nitrogenada. Quepos, Puntarenas, Costa Rica.

N kg/ha (urea)	Rotación				Diferencia % de aumento (t/ha)
	Soya-arroz		Sorgo-arroz		
	Producción (t/ha)	Eficiencia (kg grano/kg N)	Producción (t/ha)	Eficiencia (kg grano/kg N)	
0	3,5 ^c	—	2,0 ^d	—	75(1,5)
30	4,1 ^b	20,0 ^b	2,4 ^d	13,3 ^c	70(1,7)
60	4,9 ^{ab}	26,6 ^{ab}	3,4 ^c	33,3 ^a	44(1,5)
90	5,3 ^a	13,0 ^c	3,7 ^{bc}	10,0 ^c	43(1,6)
120	5,4 ^a	3,3 ^d	4,1 ^b	13,3 ^c	31(1,5)

Los valores por variable con igual letra no son diferentes al $P < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

La incorporación de rastrojos de soya benefició el cultivo del arroz en comparación con el arroz sembrado después de sorgo tanto en producción de materia seca, como N total y rendimiento del grano, concordando con lo que informa la literatura (Bouldin, 1988). A continuación se presentan en forma individual los resultados obtenidos.

Rendimiento de grano

La producción de grano con 0 N fue un 75% mayor en el ensayo de arroz después de soya (ASOY) que la obtenida en el experimento de arroz después de sorgo (ASOR) (Cuadro 3), (3,4 t/ha y 2,0 t/ha, respectivamente). Se detectaron diferencias significativas entre niveles de N en ambas rotaciones. Las curvas de regresión de ASOR y ASOY se presentan en la Figura 1. La respuesta a la adición de N, en términos del incremento relativo por dosis de N aplicada, fue mayor en el ASOR. En el ASOY la curva de respuesta al N se aplanó a los 60 kg/ha, posiblemente debido al N extra aportado por los residuos de soya, mientras que en ASOR no se alcanzó un máximo ni con la dosis más alta de N. Es posible que la incorporación de residuos de sorgo, con alta relación C:N inmovilizó el N inorgánico y redujo su disponibilidad en el suelo en detrimento del arroz. Al fertilizar con N, sobre todo a las dosis de 90 y 120 kg/ha, se subsanaron las necesidades de las plantas y de los microorganismos. Sin embargo, aún a estas dosis de fertilizante, no fue posible igualar los rendimientos del arroz en ASOR con los de ASOY.

La eficiencia del N, kg de grano/kg de N aplicado (Cuadro 3) fue también mayor en ASOY

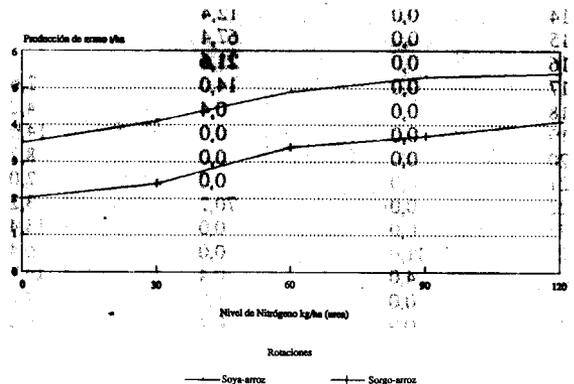


Fig. 1. Respuesta del arroz (*Oryza sativa* L.) a la fertilización nitrogenada en rotación con sorgo (*Sorghum bicolor*) y soya (*Glycine max*). Rendimiento de grano. Quepos, Puntarenas, Costa Rica.

que en ASOR en el primer incremento de 0 a 30 kg N/ha (20 contra 13,3), lo cual sugiere inmovilización en el segundo caso. En los niveles medios de 60 y 90 kg N/ha, la eficiencia fue semejante en ambos experimentos, y al nivel de 120 kg N/ha la eficiencia fue mayor en el ASOR que en el ASOY (13,3 contra 3,3). Es natural que se aplane la curva de respuesta en el ASOY a este nivel pues además del fertilizante se dispone del N del residuo. A 0 N de ASOY, hubo una producción de arroz equivalente a 75 kg N/ha, lo cual indica el aporte importante de los residuos de soya e indica además que en los primeros niveles de N de fertilizante en ASOY no hubo inmovilización, al contrario del ASOR. Sin embargo, la eficiencia de recuperación del N de fertilizante en el ASOY no fue especialmente alta y descarta un efecto sinérgico, que mejore la eficiencia del fertilizante, entre el N aplicado y el N en los residuos.

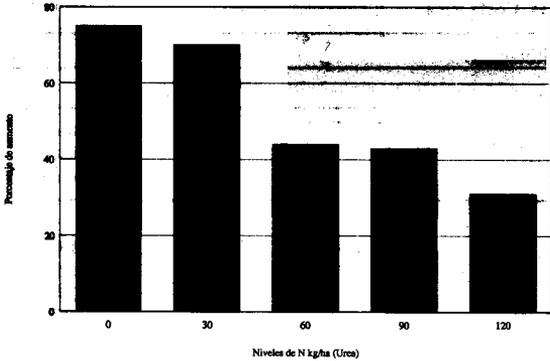


Fig. 2. Aumento relativo del rendimiento en grano del cultivo del arroz (*Oryza sativa*) en rotación con la soya (*Glycine max*) en relación con la rotación con sorgo (*Sorghum bicolor*) ante niveles de nitrógeno. Quepos, Puntarenas, Costa Rica.

La disminución de la eficiencia del fertilizante en términos de producción a las mayores dosis de N (90 y 120 kg /ha) en ambos sistemas es una indicación de la disminución de la respuesta agrónoma del cultivo al N.

En términos relativos y absolutos el rendimiento de grano fue mayor en el ASOY que el ASOR en todos los niveles de fertilización nitrogenada (Figuras 1 y 2). Sin embargo, el aumento relativo disminuyó del 75% a 0 N al 31% en el nivel de 120 kg N/ha (Cuadro 3). En todos los niveles de N la diferencia entre ASOY y ASOR fue de alrededor de 1,5 t/ha de grano.

Materia seca y N absorbido

La producción de biomasa aérea fue mayor en ASOY que en ASOR en todos los niveles de fertilización (Cuadro 4), y al igual que con el rendimiento, hubo una respuesta relativa mayor a los niveles crecientes de urea en el ASOR que en el ASOY.

El método de regresión múltiple determinó que las curvas de regresión fueron distintas, aunque al nivel más alto de 120 kg/ha hubo cierta convergencia entre ambos sistemas de rotación (Figura 3). La curva para ASOY fue bastante plana en comparación con el ASOR. La recuperación de N por la biomasa, expresada como kg de N absorbido/kg de N aplicado, en el ASOY fue mayor que en el ASOR (Cuadro 4).

Debido a la alta relación C:N de los residuos de sorgo y a su alto contenido en lignina, los mismos se degradaron lentamente, y posiblemente poco N de la biomasa estuvo disponible al cultivo

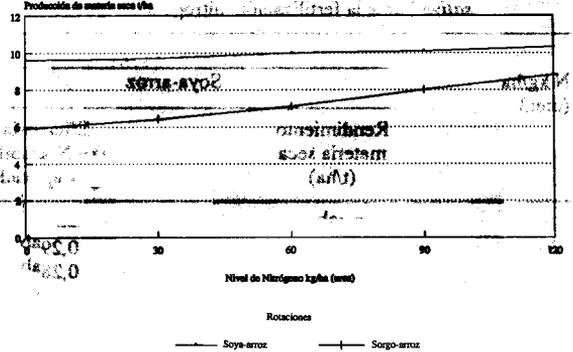


Fig. 3. Cantidad de materia seca producida por el arroz (*Oryza sativa*) ante la fertilización nitrogenada en rotación con sorgo (*Sorghum bicolor*) y soya (*Glycine max*). Quepos, Puntarenas, Costa Rica.

del arroz tal como lo corrobora la baja recuperación del fertilizante en el ASOR, debido a la inmovilización de N, a los niveles de 30 y 60 kg N/ha (Cuadro 4). Por esta razón los niveles recomendados de N para el cultivo del arroz deberían aumentarse en rotación con sorgo. Esto se ha demostrado en rotaciones con otras gramíneas (Power *et al.*, 1986). A las dosis de 90 y 120 kg/ha la recuperación del N mejoró notablemente y se acercó a las tasas de recuperación reportadas en la literatura (30-40%) (Murayama, 1979). Sin embargo, el hecho de que a ningún nivel de N la respuesta se acercara a la del ASOY, sugiere un efecto de los residuos de soya que no se puede achacar enteramente al N (Hestermann *et al.*, 1987; Bouldin, 1988).

La mayor eficiencia del N aplicado (Cuadro 3) y la mayor recuperación (Cuadro 4) en el ASOY sugieren el aporte de N por los residuos de soya y la ausencia de inmovilización. Lo más probable es que la mineralización del N, a amonio y luego a nitrato, en el residuo de soya -del cual una fracción importante proviene de la fijación del N atmosférico- ocurrió rápidamente, pues las plántulas de arroz desde un inicio mostraron un crecimiento vigoroso aún a 0 N. Por el contrario, el arroz mostró síntomas de deficiencia de N, a saber plantas de baja altura, hojas delgadas y amarillentas (De Datta, 1981) en rotación con sorgo.

Otros autores (Broder y Wagner, 1988) han encontrado una tasa de mineralización rápida de los residuos de soya; en 32 días se había descompuesto un 68% del material incorporado. En ese estudio los residuos de soya en contraste con los

Cuadro 4. Efecto de los rastrojos de soya (*Glycine max*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) sobre la recuperación de N por el arroz (*Oryza sativa*) ante la fertilización nitrogenada. Quepos, Puntarenas, Costa Rica.

N kg/ha (urea)	Rotación			
	Soya-arroz		Sorgo-arroz	
	Rendimiento materia seca (t/ha)	Eficiencia (kg N absorb/ kg N aplicado)	Rendimiento materia seca (t/ha)	Eficiencia (kg N absorb/ kg N aplicado)
0	9,6 ^{ab}	—	5,9 ^{ef}	—
30	9,7 ^a	0,29 ^{ab}	6,4 ^e	0,18 ^c
60	10,0 ^a	0,28 ^{ab}	7,1 ^d	0,14 ^c
90	10,1 ^a	0,36 ^a	8,0 ^c	0,27 ^b
120	10,3 ^a	0,33 ^a	8,8 ^b	0,27 ^b

Los valores por variable con igual letra no son diferentes al $P < 0,05$.

de maíz y trigo presentaron una mayor concentración de compuestos orgánicos solubles. Se encontró además un efecto residual pequeño, atribuible a una pequeña fracción del residuo de soya que es de degradación lenta, aún al cabo de 3 años, el cual tendría un efecto acumulativo importante para el mejoramiento de la propiedades físicas del suelo de implantarse esta rotación todos los años. Este beneficio podría ser tan importante como el aporte inmediato de nutrimentos por el residuo (Bouldin, 1988). Además no se puede descartar la movilización de las reservas orgánicas de N en el suelo (Wescott y Milkelsen, 1987), y la disponibilidad de otros nutrimentos en el residuo pues la soya, gracias a su sistema radical profundo los absorbe de un volumen del suelo al cual el arroz no tiene acceso (Moore, 1962; Sanford *et al.*, 1973).

La incorporación de los residuos de soya mejoró la producción en cerca de 1,5 t/ha en todos los niveles de N, coincidente con manejos similares con otras leguminosas de grano (Morris *et al.*, 1986).

Los rastrojos de la soya -estimados entre 2 y 2,5 t/ha y entre 60 y 80 kg N/ha- se incorporaron en los primeros 20-25 cm de suelo cuando estaba seco, y posiblemente la mineralización no ocurrió sino hasta que las lluvias se establecieron, 10 días antes de la siembra del arroz. Esto posiblemente mejoró el aprovechamiento del N en el residuo por el arroz (John *et al.*, 1989). Durante el ciclo del cultivo del arroz la lluvia fue suficiente (Cuadro 2).

Si bien la rotación permitiría reducir las dosis de fertilizante nitrogenado, esta práctica no sería recomendable pues su beneficio reside en el

aumento en los rendimientos del arroz utilizando las dosis recomendadas para el cultivo.

Además de los beneficios ya apuntados de la rotación, se pueden agregar otras ventajas adicionales tales como el control eficiente de las malezas del arroz a un costo bajo, el costo menor en la preparación del terreno, la interrupción de la rotación de los ciclos de algunas plagas y patógenos y finalmente, el mantenimiento y mejoramiento de la fertilidad del suelo. Estos factores han de cuantificarse y evaluarse económicamente en estudios futuros.

RESUMEN

Se llevó a cabo un ensayo de campo para determinar la respuesta a la fertilización nitrogenada del cultivo del arroz (*Oryza sativa*) en rotación con el sorgo (*Sorghum bicolor*) y la soya (*Glycine max*). El ensayo se realizó en el Cantón de Aguirre, Provincia de Puntarenas, cerca de Puerto Quepos. Se utilizaron 5 niveles de N (aplicados como Urea): 0, 30, 60, 90 y 120 kg /ha en ambas rotaciones, fraccionados en 3 aplicaciones, en un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones.

La influencia positiva de los rastrojos de soya provocó aumentos en la producción de arroz en todos los niveles de N del orden de 1,5 t/ha. El equivalente de fertilizante de los residuos fue de 75 kg de N/ha. La incorporación de residuos de sorgo redujo la eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado a 17%, a los niveles de 30 y 60 kg /ha, mientras que en el caso de soya fue satisfactoria, cerca del 30%, lo cual sugiere inmovilización de N

en el primer caso. La eficiencia del fertilizante, medida como kg de grano/kg de fertilizante, fue mayor en la rotación soya-arroz que en la rotación sorgo-arroz, en los dos niveles más bajos de N. Se sugieren niveles más altos de N en la rotación sorgo-arroz para evitar la inmovilización de N. Los aumentos en la producción del arroz sugieren que la rotación de este cultivo con la soya utilizando los niveles recomendados de N sería una práctica rentable y recomendable. Se discuten otros beneficios de la rotación.

LITERATURA CITADA

- ALLOS, H.R.; BARTHOLOMEW, W.V. 1959. Replacement of symbiotic fixation by available nitrogen. *Soil Science* 87:61-66.
- BOULDIN, D.R. 1988. Effect of green manure on soil organic matter content and nitrogen availability. *In* Green manure in rice farming. Ed. por E.K. De Datta. Los Baños, IRRI. p. 151-183.
- BRODER, M.W.; WAGNER, G.H. 1988. Microbial colonization and decomposition of corn, wheat and soybean residue. *Soil Science Society of America Journal* 52:112-117.
- BROADBENT, F.E.; REYES, O.C. 1971. Uptake of soil and fertilizer nitrogen by rice in some Philippine soils. *Soil Science* 112:200-205.
- DABNEY, S.M.; MCGAWLEY, E.C.; BOETHEL, D.J.; BERGER, D.A. 1988. Short term crop rotation systems for soybean production. *Agronomy Journal* 80:197-204.
- DE DATTA, S.K. 1981. Principles and practices of rice production. New York, Wiley. p. 618.
- DEIBERT, E.J.; BELJERIEGO, M.; OLSON, R.A. 1979. Utilization of N¹⁵ fertilizer by nodulating and non-nodulating soybean isolines. *Agronomy Journal* 71:713-723.
- GANGWAR, B.; KALRA, G.S. 1982. Intercropping of rainfed maize with different legumes. *Indian Journal of Agricultural Science* 51:113-116.
- HESTERMAN, O.B.; SHEAFFER, C.C.; BARNES, D.K.; LUESHEN, W.E.; FORD, J.H. 1986. Alfalfa dry matter and nitrogen production and fertilizer nitrogen response in legume/corn rotations. *Agronomy Journal* 78:19-23.
- HESTERMAN, O.B.; RUSSELLE, M.P.; SHEAFFER, C.C.; HEICHEL, G.H. 1987. Nitrogen utilization from fertilizer and legume residues in legume-corn rotations. *Agronomy Journal* 79:726-731.
- HOLDRIDGE, L.R. 1979. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 26 p.
- JOHN, P.S.; PANDEY, R.K.; BURESH, R.J.A.; PRADAD, R. 1989. Lowland rice response to urea following three cowpea cropping systems. *Agronomy Journal* 81:853-857.
- KLEINBAUM, D.G.; KUPER, L.L. 1978. Applied regression analysis and other multivariable methods. Massachusetts, Duxbury Press.
- MOORE, A.W. 1962. The influence of a legume on soil fertility. *Empire Journal of Experimental Agriculture* 30:239-248.
- MORRIS, R.A.; FUROC, R.E.; DIZON, M.A. 1986. Rice responses to a short duration green manure. I. Grain yield. *Agronomy Journal* 78:409-412.
- MURAYAMA, N. 1979. The importance of nitrogen for rice production. *In* Nitrogen and rice. Ed. por I. Watanabe. Los Baños, IRRI. p. 5-23.
- MURILLO, J.; GONZALEZ, R. 1982. Manual de producción para arroz de secano en Costa Rica. San Jose, CAFESA. 132 p.
- PEREZ, S.; RAMIREZ, E.; ALVARADO, A. 1979. Manual descriptivo del mapa de asociaciones de subgrupos de suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. Escala 1:200.000. 236 p.
- PETERSON, T.A.; VARVEL, G.E. 1989. Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate. I. Soybean. *Agronomy Journal* 81:727-731.
- PETERSON, T.A.; VARVEL, G.E. 1989. Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate. III. Corn. *Agronomy Journal* 81:735-738.
- POWER, J.F.; DORAN, J.W.; WILHELM, W.W. 1986. Uptake of nitrogen from soil, fertilizer and crop residues by no-till corn and soybean. *Soil Science Society of America Journal* 50:137-142.
- RÖDER, W.; MASON, S.C.; CLEGG, M.D.; DORAN, J.W.; KUIEP, K.R. 1988. Plant and microbial responses to sorghum-soybean cropping systems and fertility management. *Soil Science Society of America Journal* 52:1337-1342.
- SANFORD, J.O.; MYHRE, D.L.; MERWINE, N.O. 1973. Double cropping systems involving no tillage and conventional tillage. *Agronomy Journal* 65:978-982.
- WESCOTT, M.P.; MILKKESEN, D.S. 1987. Comparison of organic and inorganic nitrogen sources for rice. *Agronomy Journal* 79:937-933.