

ROTACIÓN DE CULTIVOS: SUSTITUCIÓN PARCIAL DE FERTILIZANTES NITROGENADOS E INCREMENTO DEL RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DEL ARROZ

R. Morejón, Teresa Hernández y Marlén Hernández

ABSTRACT. With the objective of studying the effect of crop rotation (rice-sorghum-rice, rice-soybean-rice, rice-sunflower-rice and rice-rice-rice) and nitrogenous fertilizer (0, 68, 102 and 136 kg.ha⁻¹) interaction on the partial substitution of nitrogen demands in rice crop, as well as on its yield, a yield experiment was carried out on a Ferruginous nodular Gley Hydromorphic soil from «Los Palacios» Rice Research Station of Pinar del Río for four years. Results have shown that by rice rotation with sorghum and soybean without nitrogenous fertilizers, equivalent yields to the application of 135 kg.ha⁻¹ N in monoculture were achieved for four years. The highest rice yields were obtained in those areas with sorghum and soybean rotation and the application of 68 kg.ha⁻¹ N, saving 68 kg.ha⁻¹ N, which represents 50 % of the necessary nitrogenous fertilization to this crop. The successive rice seedings showed a high response to growing doses of nitrogenous fertilizer (≥ 136 kg.ha⁻¹), attaining yields of just 4.2 t.ha⁻¹, as well as its gradual decrease of the order of 1 t.ha⁻¹ compared to the areas with crop rotation after the four tested years. Sorghum and soybean rotation in rice constitutes a nutritional alternative to the partial substitution of chemical nitrogenous fertilizers (50 %) and to achieve high yields (5.15 and 5.29 t.ha⁻¹, respectively).

RESUMEN. Con el objetivo de estudiar el efecto de la interacción de la rotación de cultivos (arroz-sorgo-arroz, arroz-soya-arroz, arroz-girasol-arroz y arroz-arroz-arroz) y la fertilización nitrogenada (0, 68, 102 y 136 kg.ha⁻¹) en la sustitución parcial de las necesidades de nitrógeno en el cultivo del arroz, así como en el rendimiento de este cereal, se desarrolló un experimento de campo durante un período de cuatro años en la Estación Experimental de Arroz «Los Palacios», provincia de Pinar del Río, sobre un suelo Hidromórfico Gley nodular ferruginoso. Los resultados mostraron que el hecho de rotar el cultivo del arroz con sorgo y soya sin fertilizantes nitrogenados produjo rendimientos equivalentes a la aplicación de 136 kg.ha⁻¹ de N en el monocultivo durante los cuatro años de estudio. Los más altos rendimientos agrícolas del arroz se obtuvieron en las áreas rotadas principalmente con sorgo y soya y la aplicación de dosis de 68 kg.ha⁻¹ de N, proporcionando ahorros de 68 kg.ha⁻¹ de N, lo que representa el 50 % de la fertilización nitrogenada necesaria para este cultivo. Las siembras sucesivas de arroz mostraron alta respuesta a dosis crecientes de fertilizante nitrogenado (≥ 136 kg.ha⁻¹), obteniéndose rendimientos de tan solo 4.2 t.ha⁻¹, así como su disminución gradual, del orden de 1 t.ha⁻¹ en relación con las áreas rotadas una vez transcurridos los cuatro años de estudio. La rotación con sorgo y soya en el arroz constituye una alternativa nutricional para la sustitución parcial de fertilizantes químicos nitrogenados (50 %) y la obtención de altos rendimientos (5.15 y 5.29 t.ha⁻¹, respectivamente).

Key words: crop rotation, nitrogenous fertilization, rice, *Oryza sativa*, crop yield

Palabras clave: rotación de cultivos, fertilización nitrogenada, arroz, *Oryza sativa*, rendimiento de cultivos

INTRODUCCIÓN

En Cuba, el arroz es el alimento básico en la dieta habitual de la población, por lo que se dedican a este 144 000 ha; sin embargo, la producción nacional, 510 000 t, no satisface el consumo normado (52 kg.año⁻¹ per cápita), lo que obliga al país a realizar anualmente importaciones de 210 000 t con altas erogaciones en divisa (1).

Son diversos los factores que están limitando la producción arrocera en América Latina y el Caribe, pero los que más afectan a Cuba están asociados con los aspectos nutricionales y fitotécnicos, provocados por el sistema de producción convencional establecido en monocultivo, práctica indebida de manejo de suelo y cultivo, así como el uso ineficiente de los insumos.

La aplicación de pesticidas, herbicidas y fertilizantes constituyen elementos determinantes para la eficiencia de los sistemas monoculturales (2); sin embargo, la economía cubana ha sufrido serias afectaciones en los últimos siete años, que se refleja en una disminución drástica de estos, principalmente los más influyentes en el

Ms.C. R. Morejón, Investigador; Ms.C. Teresa Hernández, Investigador Agregado y Marlén Hernández, Investigador de la Estación Experimental de Arroz «Los Palacios», Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba.

rendimiento: los fertilizantes nitrogenados, que en la mayoría de los casos se les considera como un factor limitante de la producción de arroz por los altos precios a que se cotiza.

En este sentido, la práctica de la rotación de cultivos constituye una alternativa para incrementar la fertilidad del suelo, disminuir las plagas, enfermedades y malezas, proporcionando un mejor aprovechamiento de los elementos nutrientes del suelo y fertilizantes, una reducción en importaciones y contaminación del medio ambiente, con el correspondiente aumento de la producción agrícola.

En Cuba se han realizado varios trabajos en esta temática (3)(4)(5)(6)(7), donde se demuestra que el uso del frijol común, la soya, el sorgo, el kenaf, el maíz y la sesbania en rotación con el arroz, ejercen un efecto positivo en el contenido de materia orgánica, fósforo y potasio del suelo y en el incremento del rendimiento en arroz; pero esto no constituye una práctica establecida en las arroceras.

Por todo lo antes expuesto se desarrolló el presente trabajo, con el objetivo de estudiar la interacción rotación de cultivos y niveles de nitrógeno sobre el rendimiento agrícola del arroz y el ahorro de fertilizante nitrogenado al establecer el sorgo, la soya y el girasol, como precedentes culturales del arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló durante cuatro años (1986-1990) en la Estación Experimental del Arroz "Los Palacios", perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, situada en la llanura sur de la provincia de Pinar del Río, específicamente a los 22°44' de latitud norte y a los 83°15' de longitud oeste, según Atlas de Cuba (8), a 60 m sobre el nivel del mar con pendiente aproximadamente del 1 %, en un suelo Hidromórfico Gley nodular ferruginoso (9).

Se presentan en la Tabla I las principales características químicas del suelo, donde se aprecian valores aceptables para el buen crecimiento y desarrollo del cultivo del arroz (10).

Tabla I. Fertilidad inicial del suelo

| Determinaciones | Valores | Métodos |
|-----------------------------------|---------|---|
| Materia orgánica (%) | 4.07 | Walkley y Black |
| Fósforo (ppm) | 34.20 | Oniani (extracción con H ₂ SO ₄) |
| Potasio (cmol.kg ⁻¹) | 0.28 | Oniani (extracción con H ₂ SO ₄) |
| Calcio (cmol.kg ⁻¹) | 9.13 | Maslova (CH ₃ COONH ₄), pH 7, 1N |
| Magnesio (cmol.kg ⁻¹) | 1.92 | Maslova (CH ₃ COONH ₄), pH 7, 1N |
| pH (H ₂ O) | 6.50 | Potenciométrico |

Las condiciones climáticas imperantes en el período experimental se reflejan en las Tablas II, III y IV.

Del comportamiento de la temperatura durante el período de desarrollo del experimento y teniendo en cuenta las características de las variedades de arroz que se cultivan en el país, puede señalarse que existie-

ron en todo el período estudiado condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo de esta planta, al igual que para el sorgo, la soya y el girasol.

Septiembre resultó ser el mes de más altas precipitaciones con 225.8 mm y diciembre y enero los meses de menos lluvias, con una media de 16.2 y 36.7 mm, respectivamente. Del total de lluvia anual, el 72.6 % correspondió al período comprendido entre abril y septiembre y el 27.4 % entre octubre y marzo. El valor más alto de la humedad relativa se registra en septiembre con 84.3 % y el menor en abril con 73 %.

El experimento de campo contó con 16 tratamientos, que consistieron en la combinación factorial de cuatro sistemas de rotación y cuatro dosis de N, el cual se inició en el período lluvioso del primer año (primavera) con la siembra del arroz. Posteriormente, en el período poco lluvioso del mismo año, se realizó la siembra de los precedentes culturales, siguiendo siempre la misma secuencia de siembra, ya que en esta época se siembra menos del 30 % del total de las áreas dedicadas al arroz debido a la escasez de agua, situación que posibilita sembrar otros cultivos para garantizar los productos necesarios a la economía como las leguminosas de granos, plantas oleaginosas y otras, a la vez que se establecen diferentes alternativas de cosecha, las cuales podrían contribuir a la solución de los problemas que afectan la producción de arroz.

Para la conducción del experimento, se dividió el área seleccionada en cuatro partes iguales, de forma tal que permitiera en una de ellas, dos siembras consecutivas de arroz cada año sobre una misma superficie, constituyendo esta variante el monocultivo, el cual fue el testigo común para todas las alternativas. En las restantes franjas se realizó una sola siembra anual de arroz y posteriormente una de cultivo hasta la recolección de su fruto durante cuatro años, lo que permitió la obtención de siete cosechas de arroz en el monocultivo y cuatro en los tratamientos donde se practicó la rotación.

En las siembras de arroz se aplicaron las siguientes dosis de fertilizante nitrogenado: N₀ (sin adición de fertilizante nitrogenado), N₁ (68 kg.ha⁻¹), N₂ (102 kg.ha⁻¹) y N₃ (136 kg.ha⁻¹), quedando conformados los tratamientos como se presentan en la Tabla V.

Las aplicaciones de nitrógeno al cultivo del arroz se realizaron de forma fraccionada, equitativamente, según las dosis estudiadas, a los 10, 30-35 días y en el cambio de primordio (60-65 días), empleándose como portador la urea al 46 %.

Los fertilizantes fosfóricos y potásicos se aplicaron antes de la siembra del arroz, a razón de 80 y 60 kg.ha⁻¹ de K₂O y P₂O₅, en forma de superfosfato triple y cloruro de potasio respectivamente.

La distribución de los tratamientos en el campo se realizó mediante un diseño de parcelas divididas con cuatro réplicas, donde las rotaciones constituyeron las parcelas principales (160 m²) y los niveles de nitrógeno las subparcelas (40 m²).

Tabla II. Temperatura (°C)

| Años | Meses | | | | | | | | | | | | Media |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
| 1986 | 20.8 | 21.8 | 22.0 | 23.5 | 25.2 | 26.4 | 27.2 | 26.5 | 26.3 | 25.6 | 25.3 | 23.6 | 24.5 |
| 1987 | 20.4 | 22.0 | 22.5 | 22.4 | 25.8 | 27.1 | 27.5 | 27.4 | 26.9 | 24.8 | 23.9 | 21.9 | 24.3 |
| 1988 | 21.3 | 20.9 | 22.4 | 24.8 | 24.8 | 26.5 | 27.1 | 27.0 | 26.4 | 25.2 | 24.4 | 21.9 | 24.3 |
| 1989 | 22.4 | 21.9 | 22.9 | 24.6 | 26.1 | 26.9 | 26.3 | 26.5 | 26.3 | 24.8 | 24.5 | 21.3 | 24.5 |

Tabla III. Precipitaciones (mm)

| Años | Meses | | | | | | | | | | | | Total |
|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
| 1986 | 5.8 | 40.9 | 11.0 | 17.2 | 41.8 | 89.5 | 108.6 | 244.7 | 115.4 | 116.4 | 120.8 | 151.6 | 1062 |
| 1987 | 6.7 | 34.1 | 196.0 | 5.9 | 55.3 | 144.8 | 90.4 | 88.8 | 228.0 | 88.1 | 128.4 | 23.4 | 1089 |
| 1988 | 52.4 | 29.9 | 52.9 | 27.9 | 272.0 | 210.0 | 142.3 | 105.3 | 372.4 | 28.6 | 147.8 | 3.8 | 1200 |
| 1989 | 0.0 | 42.1 | 32.7 | 179.7 | 90.1 | 86.2 | 227.2 | 231.8 | 187.3 | 43.9 | 114.7 | 37.2 | 1273 |

Tabla IV. Humedad relativa (%)

| Años | Meses | | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| 1986 | 77.0 | 79.0 | 77.0 | 71.0 | 76.0 | 77.7 | 81.7 | 84.0 | 84.0 | 81.7 | 83.7 | 85.3 |
| 1987 | 81.0 | 83.0 | 83.7 | 71.0 | 75.7 | 81.3 | 80.7 | 81.0 | 83.3 | 81.3 | 83.7 | 82.7 |
| 1988 | 80.7 | 78.0 | 77.3 | 72.3 | 80.3 | 65.7 | 82.3 | 83.0 | 85.7 | 80.0 | 83.7 | 79.7 |
| 1989 | 79.0 | 75.6 | 76.3 | 78.0 | 78.6 | 79.3 | 81.6 | 82.3 | 84.3 | 81.0 | 83.3 | 82.6 |

Tabla V. Tratamientos utilizados

| Primer año | | Segundo año | | Tercer año | | Cuarto año |
|--|-----------------------|--|-----------------------|--|-----------------------|--|
| Período lluvioso | Período poco lluvioso | Período lluvioso | Período poco lluvioso | Período lluvioso | Período poco lluvioso | Período lluvioso |
| Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Sorgo | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Sorgo | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Sorgo | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) |
| Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Soya | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Soya | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Soya | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) |
| Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Girasol | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Girasol | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Girasol | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) |
| Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Arroz | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Arroz | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) | Arroz | Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃) |

N₀ = sin N N₁ = 68 N₂ = 102 N₃ = 136 kg.ha⁻¹ de N

Para la rotación con el arroz (*Oryza sativa*) variedad Amistad'82 se utilizaron las siguientes especies: sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) variedad V-4, soya (*Glycine max* L. Merr) variedad G7-R-315 (inoculada con el *Rhizobium japonicum*) y girasol (*Helianthus annuus* L.) variedad Vinint.

El sorgo y el girasol fueron sembrados en la primera quincena de noviembre y la soya entre el 15 de diciembre y el 15 de enero.

Las aplicaciones de los fertilizantes nitrogenados, fosfóricos y potásicos a los cultivos en rotación con el arroz, se realizaron en el momento de la siembra en dosis que se reflejan en la Tabla VI. Los portadores utilizados fueron sulfato de amonio, superfosfato triple y cloruro de potasio.

Tabla VI. Fertilización utilizada en los cultivos rotantes

| Cultivos | Dosis (kg.ha ⁻¹) | | |
|----------|------------------------------|----|----|
| | N | P | K |
| Sorgo | 100 | 60 | 60 |
| Soya | 50 | 80 | 80 |
| Girasol | 50 | 80 | 80 |

Las atenciones culturales al sorgo, la soya y al girasol se realizaron según se establece en la Tecnología de labores para pastos y forrajes (11) y para el arroz según el Instructivo técnico del cultivo (12).

Se determinó el rendimiento agrícola de los cultivos (t.ha⁻¹) sobre una superficie de 8 m² al 14 % de humedad.

Los datos obtenidos del arroz se procesaron a través de un Análisis de Parcelas Divididas con dos factores (rotaciones y dosis de nitrógeno) y cuatro niveles cada uno, aplicándose la Dócima de Rango Múltiple de Duncan

cuando se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.

Para conocer el comportamiento en el tiempo de la producción de arroz en cada variante, se obtuvieron líneas de tendencia, teniendo en cuenta los valores anuales de incrementos del cultivo, sus índices de determinación (R^2), los años en los cuales la producción del arroz en el monocultivo se iguala a esta en los demás sistemas y el valor para el cual se hace incosteable la producción de arroz en el sistema de monocultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento agrícola del arroz en el primer año (Tabla VII) es influido solamente por el efecto de los niveles de nitrógeno y no por el de la rotación, ya que el estudio se inició para las cuatro variantes con la siembra del arroz y sus diferentes dosis de fertilizante nitrogenado, no existiendo diferencias en las medias de sus rendimientos, lo que refleja la homogeneidad del suelo en cada una de ellas.

Tabla VII. Comportamiento del rendimiento agrícola del arroz ($t\cdot ha^{-1}$) en el primer año de estudio (sin efecto de los precedentes culturales)

| Variantes* | Niveles de nitrógeno ($kg\cdot ha^{-1}$) | | | | Medias por variante | |
|--------------------|--|--------|--------|--------|---------------------|-------------|
| | 0 | 68 | 102 | 136 | | |
| 1 | 5.02 | 5.70 | 5.56 | 5.42 | 5.42 | ESx=0.09 ns |
| 2 | 5.00 | 5.78 | 5.48 | 5.48 | 5.43 | |
| 3 | 5.01 | 5.30 | 5.59 | 5.55 | 5.36 | |
| 4 | 5.00 | 5.60 | 5.58 | 5.27 | 5.41 | |
| Medias por niveles | 5.00 b | 5.59 a | 5.55 a | 5.48 a | MG=5.40 | |
| ESx = 0.10*** | | | | | | |

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p\leq 0.05$)

* Todas las variantes fueron sembradas con arroz al inicio de la investigación, destinándose la variante 1 para la rotación con sorgo, la 2 con soya, la 3 con girasol y la 4 para las siembras sucesivas de arroz (monocultivo), las cuales están identificadas por sistemas, a partir del segundo año, donde comienza el efecto de la rotación

Se obtuvo respuesta significativa a la fertilización nitrogenada, encontrándose los mayores rendimientos con la dosis de $68\ kg\cdot ha^{-1}$ de N, sin diferencias significativas con las mayores dosis empleadas.

Este comportamiento puede ser explicado por la fertilidad natural, en especial por los altos contenidos de materia orgánica que presentaba el suelo cuando se inició la investigación, de tal modo que suplió las necesidades del cultivo, dando lugar a rendimientos aceptables durante el primer año. Resultados similares han sido obtenidos (13) con la aplicación de $90\ kg\ de\ N\cdot ha^{-1}$, que permite lograr rendimientos satisfactorios en el cultivo, cuando el suelo posee buena fertilidad natural.

Esta respuesta sería válida para la obtención de una o al menos dos cosechas (a expensas de la fertilidad natural del suelo), ya que el arroz es un cultivo que agota rápidamente la riqueza nutrimental y la productividad de

los suelos, lo cual implica la necesidad de implementar la rotación de cultivos o cualquier otro método de mejoramiento para mantener la fertilidad del suelo y obtención de rendimientos satisfactorios, principalmente a partir de un segundo año, que es donde los rendimientos comienzan a declinar cuando se siembra de forma continua sobre un mismo suelo, como se demuestra en los siguientes años de estudio.

A partir del segundo hasta el cuarto año de estudio (Tablas VIII, IX y X) se puede apreciar significación estadística en la interacción de los factores: niveles de nitrógeno y sistemas de rotación.

Tabla VIII. Efecto de los sistemas de rotación y niveles de nitrógeno sobre el rendimiento agrícola del arroz ($t\cdot ha^{-1}$) en el segundo año de estudio

| Sistemas de rotación | Niveles de nitrógeno ($kg\cdot ha^{-1}$) | | | |
|----------------------|--|---------|----------|----------|
| | 0 | 68 | 102 | 136 |
| A-sorgo-A | 4.83 bc | 5.45 ab | 5.30 abc | 5.32 abc |
| A-soya-A | 4.78 bcd | 5.55 a | 5.39 ab | 5.39 ab |
| A-girasol-A | 4.00 de | 4.49 cd | 5.40 ab | 5.37 abc |
| A-arroz-A | 3.96 e | 4.00 de | 4.13 de | 5.02 bc |
| ESx= 0.19** | | | | |

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p\leq 0.10$)

Tabla IX. Efecto de los sistemas de rotación y niveles de nitrógeno sobre el rendimiento agrícola del arroz ($t\cdot ha^{-1}$) en el tercer año de estudio

| Sistemas de rotación | Niveles de nitrógeno ($kg\cdot ha^{-1}$) | | | |
|----------------------|--|---------|---------|---------|
| | 0 | 68 | 102 | 136 |
| A-sorgo-A | 4.35 cde | 5.30 a | 5.20 a | 5.23 a |
| A-soya-A | 4.40 cd | 5.34 a | 5.28 a | 5.39 a |
| A-girasol-A | 3.19 g | 4.15 de | 5.12 ab | 5.10 ab |
| A-arroz-A | 1.92 h | 3.30 fg | 3.80 ef | 4.50 bc |
| ESx= 0.21*** | | | | |

Tabla X. Efecto de los sistemas de rotación y niveles de nitrógeno sobre el rendimiento agrícola del arroz ($t\cdot ha^{-1}$) en el cuarto año de estudio

| Sistemas de rotación | Niveles de nitrógeno ($kg\cdot ha^{-1}$) | | | |
|----------------------|--|---------|------------|------------|
| | 0 | 68 | 102 | 136 |
| A-sorgo-A | 4.08 cde | 5.15 ab | 5.02 abcd | 5.01 abcd |
| A-soya-A | 4.06 de | 5.29 a | 5.09 ab | 5.00 abcd |
| A-girasol-A | 3.00 f | 3.98 e | 4.84 abcde | 4.70 abcde |
| A-arroz-A | 1.97 g | 2.05 g | 3.11 f | 4.20 abcde |
| ESx= 0.29* | | | | |

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p\leq 0.05$)

El análisis de comparación de medias refleja que en los sistemas arroz-sorgo-arroz y arroz-soya-arroz se obtuvieron los mayores valores del rendimiento a partir de la dosis de $68\ kg\ de\ N\cdot ha^{-1}$ hasta $136\ kg\ de\ N\cdot ha^{-1}$, sin diferencias significativas entre sí.

En el sistema arroz-girasol-arroz, el mejor comportamiento se observa a partir de la dosis de 102 kg de N.ha⁻¹, que no difirió de los sistemas anteriores.

En el monocultivo se refleja un incremento del rendimiento en la medida que aumentan las dosis de fertilizante, infiriéndose que el máximo valor del mismo en este sistema estaría a una dosis por encima de 136 kg de N.ha⁻¹.

Los rendimientos más bajos se obtuvieron en todos los sistemas sin fertilizar; sin embargo, el hecho de rotar con sorgo y soya sin la aplicación de fertilizante nitrogenado, produjo rendimientos equivalentes a los obtenidos por el monocultivo a la dosis de 136 kg.ha⁻¹ de N. Estos resultados son de trascendental importancia para el país, ya que los gastos por concepto de fertilización nitrogenada en el arroz ascienden a 15 millones de pesos, sin que aún se obtengan rendimientos proporcionales al fertilizante aplicado (2).

Similares resultados a los descritos en el segundo año, se presentan en el tercero y cuarto años (Tablas IX y X); es decir, los valores más elevados del rendimiento se obtuvieron en los sistemas con sorgo y soya como cultivos rotantes entre las dosis de 68 y 136 kg.ha⁻¹ de N, mientras que en la rotación con girasol estuvieron a partir de la dosis de 102 kg.ha⁻¹ de N, sin diferencias significativas entre sí para ambos casos.

Todo ese comportamiento indica que un cultivo se desarrolla mejor en rotación con otro que cuando se sucede así mismo, ya que parte del principio de que si bien todas las plantas cultivadas se componen de los mismos elementos, no todas extraen del suelo en igual proporción las sustancias nutritivas que les son indispensables, puesto que ciertas plantas absorben más algunos elementos que otras, por lo que con el cultivo continuo de dichas plantas se van agotando desproporcionalmente determinados elementos del suelo.

Además, bajo el efecto de la rotación, el arroz puede hacer un uso más eficiente de los elementos nutrientes que aportan los cultivos rotantes, a través de sus residuos de cosecha, lo cual se revierte en una mayor producción.

En el monocultivo, el valor mayor del rendimiento continúa siendo a la dosis de 136 kg.ha⁻¹ de N, para un rendimiento de tan solo 4.50 t.ha⁻¹ (Tabla X), dejándose de producir alrededor de media tonelada con respecto al año anterior (Tabla IX), lo que puede ser atribuido a factores tales como una mayor incidencia de la vegetación indeseable, enfermedades e insectos, disminución de la fertilidad del suelo, debido a la siembra consecutiva del mismo cultivo por varios años, así como a efectos alelopáticos negativos por el sistema de producción en monocultivo (14).

Otra de las razones de la respuesta del arroz a la mayor dosis de nitrógeno pudiera ser el bajo aprovechamiento del N por la planta, puesto que en los suelos inundados ocurren pérdidas notables por desnitrificación del 30-50 % en la capa reducida, otra pérdida de importancia es por volatilización del amoníaco (N-NH₃), las cuales pueden superar el 40 % del nitrógeno aplicado en forma de amonio o urea, así como también pérdidas por lavado

que ocurren principalmente en los suelos de textura gruesa con una capacidad de intercambio baja.

Resultados similares se obtuvieron (15)(16) al exponer que a partir de la tercera cosecha de arroz se producen diferencias significativas entre las parcelas rotadas y el monocultivo, reflejándose en este último una disminución en los rendimientos de una cosecha a otra de 0.5 t.ha⁻¹, pudiendo llegar a valores superiores.

En este sentido, se señala (17)(18) que la producción intensiva y/o inapropiada de algunos cultivos ha ocasionado una progresiva y acelerada degradación de la productividad de los suelos, repercutiendo en la disminución de los rendimientos.

Por otra parte se plantea (19) que no es aconsejable la siembra consecutiva de un mismo cultivo por muchos años, e incluso la siembra de la misma secuencia de cultivos cada verano e invierno; por ejemplo, soya-trigo, año tras año, porque estas tendrán el efecto de bajar el contenido de materia orgánica y de nitrógeno total del suelo, repercutiendo en la disminución del rendimiento, siendo sumamente importante la inclusión del maíz, sorgo, girasol y algodón en sistemas de rotación, por la gran cantidad de biomasa que producen los mismos con alta relación C:N de difícil descomposición.

Por los múltiples beneficios que brindan estos cultivos como precedentes culturales (20), pueden utilizarse en Centroamérica y el Caribe en diferentes tipos de sistemas, como por ejemplo maíz+sorgo en asociación simultánea, maíz+frijol en asociación simultánea+sorgo, obteniéndose mayores rendimientos por el efecto de la rotación.

De esta forma, se plantea que los altos rendimientos que se obtienen en el cultivo del arroz en algunos países se deben al uso de la rotación (21)(22).

Los resultados obtenidos demuestran la factibilidad de utilizar la rotación de cultivos como una alternativa de sustitución de fertilizantes químicos nitrogenados e incrementar los rendimientos del arroz, principalmente con las especies vegetales sorgo y soya, proporcionando un ahorro de 68 kg.ha⁻¹ de N, las cuales cubren el 50 % de las necesidades de fertilizante nitrogenado en este cereal.

Coincidente con los resultados experimentales, en el cultivo del arroz numerosos autores indican sustituciones de nitrógeno de 35 a 90 kg.ha⁻¹ por el empleo de estas alternativas orgánicas (6)(23)(24).

A través de la representación gráfica (Figura 1), se puede apreciar con más claridad el comportamiento del rendimiento del arroz en el decursar del tiempo, utilizando, dentro de las mejores dosis, la más económica para cada sistema. En ella se refleja que, en sentido general, se produjo un decrecimiento en los rendimientos del cultivo base, siendo solamente de alrededor de media tonelada en las variantes con sorgo y soya una vez transcurridos los cuatro años, similar a la disminución que se produce de una cosecha a otra en siembras sucesivas de arroz, las cuales pueden ser superiores en solo año y medio, mientras que en este estudio la disminución de la producción para el monocultivo fue de 1.22 t.ha⁻¹.

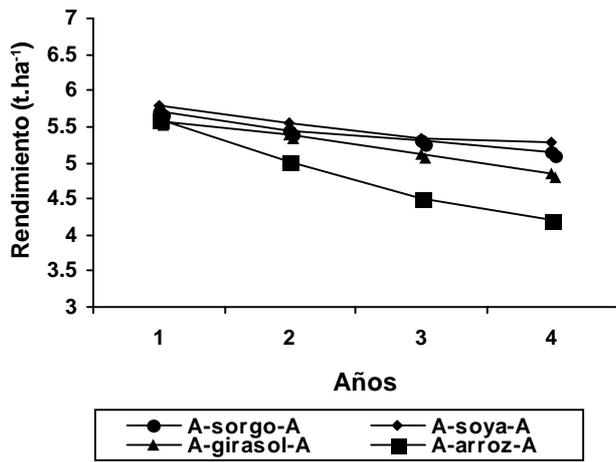


Figura 1. Comportamiento del rendimiento agrícola del arroz para cada sistema de rotación en el período estudiado

A pesar de la disminución del rendimiento que se produjo en el tiempo en las variantes con sorgo y soya, se aprecia que estos cultivos fueron los que facilitaron producciones más estables e incrementos de la producción (dosis de $68 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) con respecto al monocultivo (dosis de $136 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de 12.73 y 14.06 %, lo que equivale a 0.65 y $0.70 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de arroz.

Ese comportamiento responde al aporte gradual de 27 y $33 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de biomasa y a los elementos nutrimentales provenientes de los cultivos de soya y sorgo, los cuales influyeron positivamente en los contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio del suelo, así como el mejoramiento de sus propiedades físicas -densidad aparente y porosidad total- y, por consiguiente, en los rendimientos obtenidos (25).

También puede estar dado por el desarrollo de un sistema radical del arroz mejor y más profundo, facilitando una mejor absorción de los nutrientes de toda la capa del suelo, su transporte al tallo y el mantenimiento de hojas activas, protegiéndolas de la senescencia temprana, probablemente debido a la traslocación de fitohormonas, lo cual es el resultado de la mejora de las propiedades físicas, los incrementos de los procesos de mineralización y la liberación de sustancias promotoras del crecimiento, así como la reducción de sustancias fitotóxicas cuando se incorporan residuos de cosechas al suelo a través de la rotación de cultivos.

Otra de las razones que pudiera explicar ese comportamiento es atribuido a un mejor control de las plantas indeseables, por el efecto supresivo que provocan ciertos cultivos tales como el sorgo, el maíz, el girasol, entre otros, en la reducción de malezas y su biomasa. Resultados similares fueron obtenidos con sorgo y soya como precedentes culturales del arroz durante siete años (14)(26)(27).

La práctica del monocultivo demuestra un rápido detrimento del rendimiento agrícola de forma significativa a partir de la tercera cosecha (segundo año), debido qui-

zás a los largos períodos de reducción a los que se somete el suelo por el cultivo sucesivo del arroz bajo aniego, provocando que la concentración de la solución del suelo varíe grandemente y se produzca el lavado de las bases.

Asimismo, se ha determinado en los llanos orientales de Colombia (28), una pérdida lineal del rendimiento de 0.40 a $0.50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, cuando el arroz fue cultivado continuamente en el período 1989/1992, debido, entre otros factores, a las extracciones abundantes de nutrientes del suelo por plantas indeseables.

Por otra parte, en Brasil se presupone que ocurra una concentración de inhibidores del crecimiento debido a la propia cultura (26), lo que obliga a la utilización de sistemas de rotación, donde el arroz sea cultivado utilizando un precedente cultural con un mínimo de dos años.

Para conocer la tendencia anual de la producción del arroz en cada variante (Figura 2), se realizaron curvas de respuesta teniendo en cuenta los valores anuales de incrementos de la producción del cereal correspondientes a la dosis de producción para el monocultivo y las dosis óptimas en los demás sistemas de rotación, durante los cuatro años en estudio.

Se encontraron relaciones de dependencia positivas y significativas entre los incrementos anuales de los rendimientos y los años a través de ecuaciones de naturaleza polinómica de primer grado.

En la Figura 2 se observa que la producción anual en el monocultivo supera al principio la obtenida en los diferentes sistemas, por estar favorecida por dos cosechas; sin embargo, estos incrementos van disminuyendo en el tiempo por el efecto negativo de los sistemas de producción monoculturales, llegando a igualarse esta producción con el sistema arroz-soya-arroz a los ocho años y con los sistemas arroz-sorgo-arroz y arroz-girasol-arroz a los nueve años.

Además, se pudo calcular que a partir del séptimo año, con una producción anual alrededor de las $5.93 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, se hace incosteable la producción de arroz en el monocultivo.

En estos resultados se pone de manifiesto que la rotación de cultivos es un pilar fundamental para producir alimentos con rendimientos razonablemente altos y estables, sin deteriorar el suelo (29).

REFERENCIAS

1. CNSF (Ministerio de la Agricultura). Los suelos en Cuba.- Ciudad de La Habana. pág. 10. 1992.
2. Muñiz, O. Los sistemas integrados de nutrición vegetal. [Conferencia impartida a la maestría de Nutrición de las plantas y Biofertilizantes]. 1997.
3. Flores, T. Evaluación técnico-económica de la tecnología del aprovechamiento del suelo con dos siembras anuales de arroz o una con distintos precedentes culturales. [Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas]. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana. 1984.

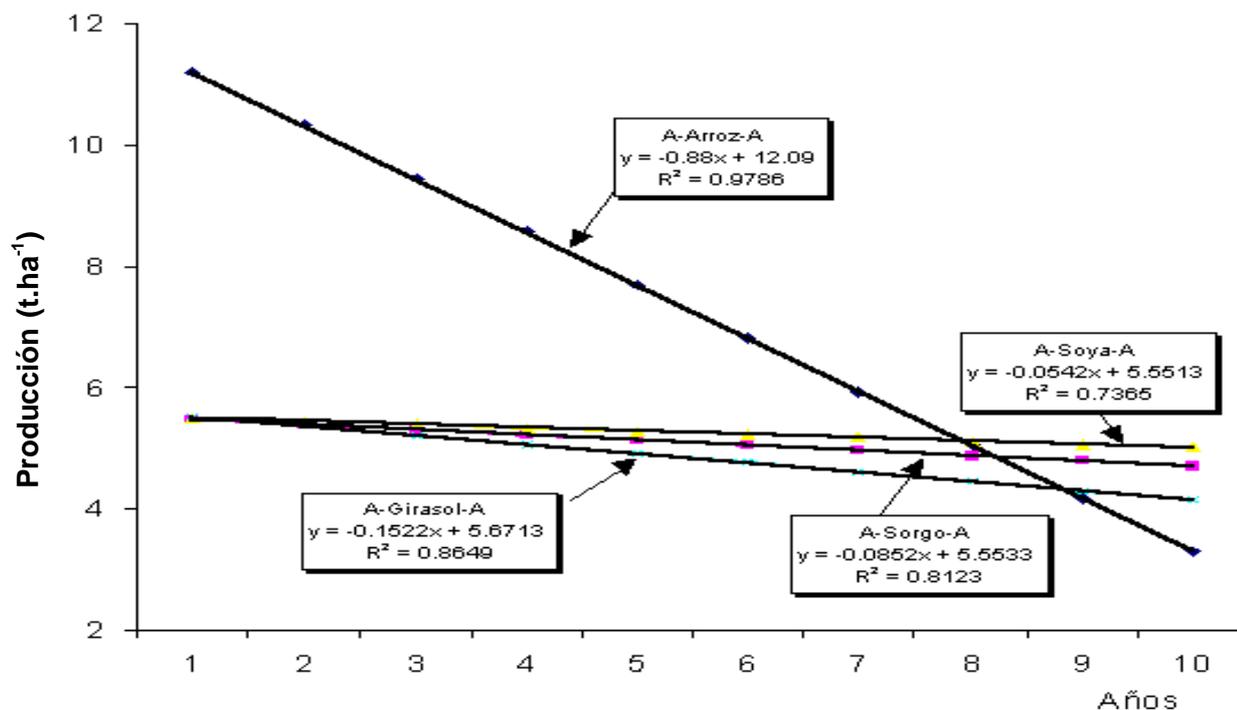


Figura 2. Tendencia de la producción anual del arroz para cada variante en 10 años

4. Díaz, G. S. Influencia de la rotación en la fertilidad del suelo y su efecto sobre el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) En: Memoria del Instituto Superior Agrícola de Ciego de Avila (1,1985: Ciego de Avila). Memoria. -Ciego de Avila: ISACA. 1985.
5. Cabello, R. M. Comentarios a conferencia "Sistemas de cultivos de arroz irrigado no Río Grande do Sul". En: Arroz na America Latina: Perspectivas para o incremento da producao e do potencial productivo. Volume 1. EMBRAPA-CNPAP. 1995, p. 169-174.
6. Cabello, R., et al. Efecto de la alternancia de leguminosas sobre el rendimiento agrícola del arroz. Artículo científico en imprenta. 1998a.
7. Cabello, R., et al. Uso de la *Sesbania rostrata* y frijol de soya como precedentes del arroz en la reducción de la fertilización mineral. Artículo científico en imprenta. 1998b.
8. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Atlas de Cuba.- La Habana. 1978.
9. Hernández, A. /et al./ Nueva versión de Clasificación de los suelos de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. Suelos. La Habana. 1995.
10. Black, C. A. Methods of soil analysis. Part II. Chemical and Microbiological properties. *Agronomy Journal*, 1965.
11. MINAG. Tecnologías de Labores para Pastos y Forrajes. La Habana, 1985.
12. MINAG. Instructivo Técnico para el cultivo del arroz. La Habana, 1985.
13. Rodríguez, E., Freyre, J. y Peña, J. L. Estudio del efecto de los distintos plazos de aplicación de los fertilizantes nitrogenados en el rendimiento y sus componentes en el cultivo del arroz. 1994, vol. 3, no. 2-20.
14. Olofsdotter. M. Allelopathy in Rice. *IRRI*, 1998, p. 154 p.
15. Hernández, C., N. C. Dantur y M. Casanova. Consecuencias del monocultivo de la soya sobre algunas propiedades del suelo. *Agro Avances*, 1995.
16. Díaz, G. El cultivo del arroz en Cuba. [Conferencias impartidas a productores y técnicos de arroz de Casanare]. Colombia. 1998b.
17. Lara, A. Mejoradores del suelo. *Agronomía*, 1992, vol. 13, p. 10-20.
18. Leyva, A. Conferencia sobre el cultivo de la soya. Breve reseña histórica. La Habana. INCA, 1995. 14 p.
19. Barber, R. G. Rotaciones de cultivos para zonas con 1000 a 1300 mm de lluvia por año en el departamento de Santa Cruz, Bolivia. En Manual del Manejo de Suelos para Agricultores Mecanizados. Bolivia : Santa Cruz . 1994, p. 1-42.
20. Paul, L. C. Agronomía del sorgo. Programa de Mejoramiento del Sorgo del ICRISAT para América Latina : Instrucciones Internacionales para la Investigación en Cultivos para los Trópicos Semiáridos. India. 1990, p. 209-237.
21. Mesa, A., Casanova, A. y Quintero, P. L. La rotación de cultivos en los sistemas de agricultura sostenible. En II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. La Habana. 1995, p. 27.
22. Casanova, A., Hernández, A., Santos, R. Papel de la rotación de cultivos y los sistemas de cultivos múltiples para la agricultura sostenible. [Conferencia].- La Habana: ISCAH. 1995.
23. Becker, M., et al. Ottom. Agronomic and economic evaluation of *Sesbania rostrata* green manure establishment in irrigated rice. *Field Crops Research*, 1995, 40, p. 135-141.
24. Cabello, R. M., et al. Efecto de la *Sesbania rostrata* y *Sesbania emerus* como abono verde en la reducción del nitrógeno en el arroz. En Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y Resúmenes : La Habana. 1993.

25. Hernández, T. La rotación de cultivos. Una alternativa para la producción sostenible de arroz en las condiciones de Pinar del Río. [Tesis de Maestría]. INCA, 1999.
26. Ruschel, A., Silveira, P. M. da y Paula, M. M. Alelopatía en arroz de sequeiro. En Congreso Brasileiro de Ciencia do Solo. Resumos . Gioania: SBCS, 1993, vol 1, p. 315-316.
27. Sousa, R. O., Gómez, E. A. Sistemas de cultivo de arroz irrigado no Río Grande do Sul. En: Conferencia International de Arroz para América Latina E. O. Caribe. Arroz na América Latina: perspectiva para o incremento da producao e do potencial productivo Goiania: EMBRAPA-CNPAP-APA. 1995, vol 1.
28. Klutchcouski, J., Pinheiro, B. da S., Yokoyama y L. P. O arroz nos sistemas de cultivo do Cerrado. En: Conferencia International de Arroz Para América Latina E O Caribe, Goiania. Arroz na América Latina: Perspectivas para o incremento da producao e do potencial productivo. EMBRAPA-CNPAP-APA. 1995, vol. 1.
29. Hernández, G. Rotación y manejo ecológico de los cultivos. En Primer Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Conferencias y Mesas Redondas. ISCAH. 1993, p. 37-43.

Recibido: 1 de julio de 1999

Aceptado: 24 de septiembre de 1999

INSTITUTO NACIONAL
DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

MAESTRÍA

“Nutrición de las plantas y biofertilizantes”

Duración: 2 años
Fecha de comienzo: febrero
Precio: 5000.00 USD
Coordinador: Dr.C. Ramón Rivera Espinosa

Para más información diríjase a:

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval
Dirección de Educación y Relaciones Públicas
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba CP 32700
Telf: (53)(64) 6-3867, 6-3773
Fax: (53)(64) 6-3867
e-mail: posgrado@inca.edu.cu