

Rendimiento y sus componentes de la variedad de arroz IIAC-20 con relación a la fertilización nitrogenada y densidad de población en primavera

Yield and their components of the variety of rice IIAC-20 with relationship to the nitrogen fertilization and population density in spring

Abilio Castillo¹; Sergio Rodríguez¹; Antonia María Castillo; Rafael Peña²

1. Universidad de Granma, Carretera a Manzanillo, km 17, Cuba

2. ETIA Jucarito, Granma, Cuba.

Email: acastillog@udg.co.cu

RESUMEN. Se presentan los resultados de un experimento desarrollado para determinar dentro de tres niveles de nitrógeno y tres densidades de siembra la mejor respuesta del genotipo de arroz IIAC-20 en época de primavera, y el nivel de asociación que para estas condiciones establecen los componentes del rendimiento agrícola a través de análisis de coeficientes de sendero. Se puso de manifiesto la importancia del número de panículas.m⁻², como variable que influye en mayor medida en los rendimientos agrícolas. Para las distintas combinaciones evaluadas, 120 kg.ha⁻¹ de nitrógeno con una densidad de siembra de 120 kg.ha⁻¹ arrojó los rendimientos más altos, con una alta eficiencia en el empleo del fertilizante. El biplot del análisis de componentes principales logró asociar las diferentes combinaciones de nitrógeno y densidad de siembra respecto a los caracteres evaluados, demostrando como las dosis elevadas de nitrógeno aumentan la altura de la planta, pero no el rendimiento agrícola.

Palabras clave: Arroz, densidad, fertilización nitrogenada, población, rendimiento.

ABSTRACT. The following results were obtained for an experiment done with three levels of nitrogen and three planting densities to determine the best response by the rice genotype IIAC-20 in the spring season, and the level of association that these conditions establish on the components of the agricultural yields using the sendero coefficient analysis. It placed in manifestation the importance of the number of rice pods per m² as the variant that influence most significantly in the agricultural yields. In relation to the distinct combinations evaluated, 120kg.ha of nitrogen with a planting density of 120kg.ha produces the highest yields with a high efficiency in the use of fertilisers. The biplot analysis of the principal components gained the association of the different combinations of nitrogen and planting densities with respect to the characters evaluated, demonstrating how the increased dosage of nitrogen increase the plant height but not the agricultural yields.

Key words: Rice, density, nitrogen fertilization, population, yield.

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oriza sativa* L), constituye la mitad de la dieta alimentaria de unos 1 600 millones de seres humanos y supone para otros 400 millones, entre la cuarta y la mitad de su alimentación (Swaminatan, 1989).

En Cuba, el arroz representa uno de los elementos básicos de la dieta cubana (Gutiérrez, 1988). Según datos de la FAO (FLAR, 1997), Cuba se encuentra entre los cinco países con más bajos rendimientos de América Latina, con 2,4 t.ha⁻¹, en el período 1994-1996 y una producción de 235 mil toneladas de arroz cáscara; sólo se encuentran por debajo Panamá con 2,2 t.ha⁻¹, Bolivia con 2,0 t.ha⁻¹ y Haití con 1,6 t.ha⁻¹.

Son varios los factores que influyen en estos resultados, entre ellos tenemos: la fertilidad nitrogenada y la densidad de población. El nitrógeno es uno de los principales reguladores de la productividad de la planta de arroz, forma parte de todas las proteínas y de muchos componentes no proteicos, siendo el nutrimento que más influye en los rendimientos del cultivo, considerándose como un factor limitativo de la producción (CIA, 1982). Por otro lado, dentro de los factores que se relacionan con la cantidad de población se encuentra la densidad de siembra. Cruz y col., (1981) observaron que los rendimientos agrícolas ascendían en la medida en que se aumentaba la

densidad de siembra. Además el potencial de rendimiento de una variedad de arroz está determinado por la existencia de un buen equilibrio entre los componentes del rendimiento de las plantas.

Sobre lo anterior el objetivo del presente trabajo, fue determinar los niveles de nitrógeno y densidades de siembra más racionales, con altos rendimientos agrícolas en la variedad de arroz IIAC-20, de ciclo corto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la Estación Territorial de Investigaciones del Arroz de Jucarito, municipio de Río Cauto, provincia de Granma, Cuba, en el período marzo – julio del 2006, correspondiente a la campaña de primavera, en un suelo Oscuro plástico no gleyzado.

con tres niveles: Sin fertilización (No), dosis de 80 kg.ha⁻¹ (N1) y 120 kg.ha⁻¹ (N2), siendo la urea el portador utilizado. El segundo factor, densidad de siembra con tres niveles también: 85 kg.ha⁻¹ (D1); 120 kg.ha⁻¹ (D2) y 150 kg.ha⁻¹ (D3).

El diseño experimental empleado fue bloques al azar con cuatro réplicas de 6 m². Los factores empleados fueron dos, el primer factor fertilización nitrogenada

La variedad empleada fue la IIAC-20 de ciclo corto.

El fraccionamiento del nitrógeno en kg.ha⁻¹, se aplicó de la siguiente forma (Tabla 1):

Tabla 1. Fraccionamiento del nitrógeno aplicado, empleando como portador la Urea

	Fraccionamiento kg.ha ⁻¹			Cálculo de la Urea (g.parcela ⁻¹)			Momento de aplicación (D D germinación)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Dosis total									
80 kg.ha ⁻¹	20	30	30	487	731	731	5	30	55
120 kg.ha ⁻¹	30	45	45	487	1096	1096	5	30	55

La siembra se realizó a chorrillo en surcos separados a 15 cm. El riego y demás atenciones culturales se realizaron según el Instructivo Técnico del cultivo, 1993.

-Evaluación de la altura de las plantas al momento de la cosecha, mediante una muestra de las plantas seleccionadas al azar en cada tratamiento, desde la base del tallo hasta el cuello de la panícula.

La cosecha se realizó cuando el grano alcanzó una humedad entre 20 y 22 %, mediante un área de cálculo de 4 m² por tratamiento.

Rendimiento agrícola y sus componentes:

Previo a la siembra se realizó análisis químico del suelo a una profundidad de 20 cm, mostrando los contenidos de fósforo, potasio, calcio, magnesio en meq/100g de suelo, materia orgánica en porcentaje y el pH en agua. Se tomaron las precipitaciones caídas en mm a través de la estación meteorológica ubicada en la misma estación, correspondientes al período del desarrollo del experimento.

-Panículas por metro cuadrado, mediante el conteo enmarcado en 0,25 m².

-Peso de 1000 granos, a través de la muestra de 200 granos.

-Número de granos por panícula, mediante el cálculo indirecto, aplicando la fórmula correspondiente:

Se evaluaron los aspectos siguientes en la cosecha:

Granos/panícula = (PM x 1000) / (No. panículas. m⁻² x PM)

Donde:

PM: Peso de 1000 granos

-Se determinó la cantidad de plantas.m⁻², a los 15 días de germinado el arroz, mediante una muestra de 0,25 m².

El rendimiento agrícola en t.ha⁻¹ al 14 % de humedad se calculó por la fórmula siguiente:

-Conteo del ahijamiento a los 30 días de la germinación, mediante una muestra de 10 plantas seleccionadas al azar por cada tratamiento.

Rend. Agrícola = (10 PM (100- HM)) / (86 x AC)

Donde:

PM: Peso de la muestra del área de cálculo en kg

HM: Humedad de la muestra expresado en por ciento

HC: Área de cálculo en m²

Se calculó la eficiencia en el uso del fertilizante (EUF) propuesta por Yoshida (1981), modificada por Jaramillo y col (2001).

$$E.U.F = \frac{\text{Rendimiento total (Kg grano.ha}^{-1}) - \text{Rendimiento obtenido sin N (Kg grano.ha}^{-1})}{\text{Cantidad de N aplicado (Kg N.ha}^{-1})}$$

Para el procesamiento estadístico de los datos, primero se verificó el cumplimiento de las premisas del análisis de varianza; el ajuste a la distribución normal a través de la prueba de Kolmogorov – Smirnov y la homogeneidad de las varianzas a través del test de Bartlett. Estas premisas fueron cumplidas para todas las variables.

Se realizó análisis de varianza factorial de clasificación doble por efectos fijos, considerando a los factores nitrógeno y densidad de siembra, ambos con tres niveles. Para la comparación múltiple de medias se empleó la prueba de Tukey, al 5 por ciento de probabilidad.

Con el objetivo de conocer las relaciones causales de las correlaciones entre el rendimiento agrícola (variable dependiente) y los componentes de ese rendimiento (variables exógenas) se realizó un análisis de Coeficientes de Sendero (Wright, 1931). Se hizo empleo del análisis de componentes principales (Hotelling, 1933), asumiendo como individuos las nueve combinaciones de los niveles de los dos tratamientos y como variables el rendimiento, granos por panícula, peso de 1000 granos, número de panículas.m⁻² y la altura de las plantas, en una matriz 9 x 6 (n e” p). Los individuos y variables se representaron gráficamente a través de método biplot propuesto por Gabriel (1971).

En todas las pruebas secuenciales, los valores de p fueron corregidos según el ajuste de Bonferroni (Rice, 1989), por la modificación propuesta por Chandler (1995). En el procesamiento automatizado de los datos se emplearon los paquetes estadísticos TONYSTAT, Sigarroat (1987); SAS (2000) y el SPSS (2001), versión 11 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A pesar de que los tres componentes del rendimiento agrícola mostraron correlaciones positivas y altamente significativas (Tabla 2), evidencia, evidencia el alto nivel de asociación existente entre la cantidad de granos por panícula, el peso de 1000 granos y la cantidad de panículas/m², con relación al rendimiento agrícola del cultivo del arroz. Se encontró además que el número de panículas/m², fue el componente del rendimiento que mayor contribución directa ejerció sobre el rendimiento agrícola, seguido con valores comparativamente más bajos y muy similares entre ellos por la cantidad de granos/panícula y el peso de 1000 granos. Al analizar las variables número de granos/panícula y el peso de 1000 granos, se denota que los valores que alcanzan sus coeficientes de correlación respecto al rendimiento, son debido en mayor cuantía a su influencia indirecta a través del número de granos llenos/panícula, mientras que para el número de panículas/m², la mayor influencia indirecta fue a través de la cantidad de granos/panícula.

Para el cultivo del arroz, resulta importante el conocimiento de las asociaciones que se establecen entre el rendimiento agrícola con relación a sus componentes, siendo insuficiente en muchos casos las correlaciones parciales para explicar la verdadera interrelación. Para salvar estas insuficiencias se ha empleado con éxito el análisis de coeficientes de sendero, el cuál ha sido empleado con éxito en otros cultivos como la caña de azúcar por Alonso y Ortiz (1984)

La única limitante del análisis de coeficientes de sendero, es que cuando más variables son incluidas en el análisis, las asociaciones indirectas que se establecen se harán más complejas.

Al igual que los resultados de esta investigación, Rao y col (1980), determinaron que el mayor efecto directo sobre el rendimiento agrícola fue debido a la influencia del número de panículas.m⁻².

El efecto de varios niveles de nitrógeno con diferentes densidades de siembra y la respuesta del rendimiento agrícola de la variedad IIAC-20 (figura 1) denoto que los rendimientos más bajos de este genotipo se alcanzan en los tratamientos carentes de nitrógeno, sin diferencias significativas entre ellos, independientemente de que a medida que se aumentó la densidad de semilla, estos ascendían.

Tabla 2. Contribuciones directas e indirectas con el empleo del análisis de coeficientes de sendero, de los componentes (granos/panícula, peso de 1000 granos y número de panículas/m²) con relación al rendimiento agrícola

Variable dependiente: Rendimiento			
Efecto	Via	Coefficientes	Valor p
Granos/panícula	Directa	0,27	
Granos/panícula	Peso 1000 granos	0,23	
Granos/panícula	No. panículas	0,30	
r total		0,81	0,000031
<hr/>			
Peso 1000 granos	Directa	0,28	
Peso 1000 granos	Granos/panícula	0,22	
Peso 1000 granos	No. panículas	0,27	
r total		0,77	0,000004
<hr/>			
No. panículas	Directa	0,50	
No. panículas	Granos/panícula	0,15	
No. panículas	Peso 1000 granos	0,17	
r total		0,82	0,000013

***p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01**

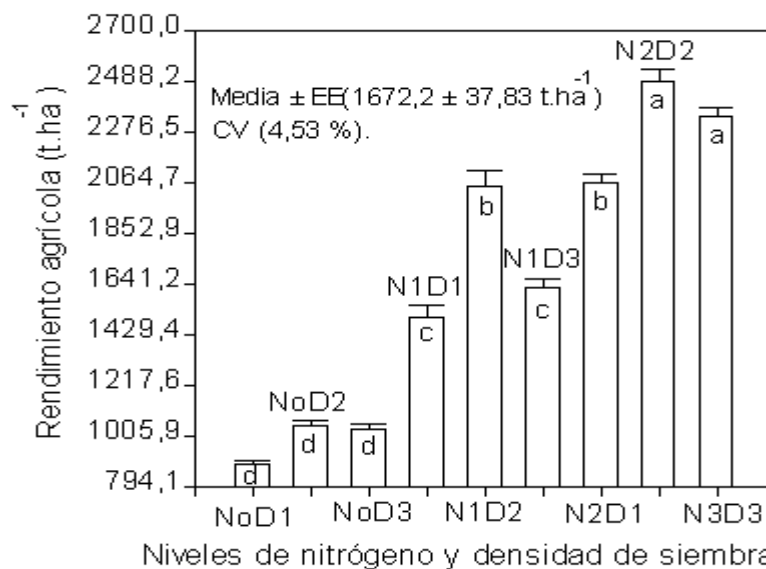


Figura 1. Rendimiento promedio y su error estándar de la variedad IIAC-20, con la aplicación de diferentes niveles de nitrógeno y densidades de siembra

Cuando se aplicaron 80 kg.ha⁻¹, no se encontraron diferencias significativas con las densidades de 150, y 85 kg.ha⁻¹, pero sí desde el punto de vista estadístico con la densidad de 120 kg.ha⁻¹, al acaparar dentro de esa misma dosis los rendimientos más adecuados.

Los mayores rendimientos se alcanzaron con el empleo de la dosis de 120 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, cuando la densidad de siembra fue de 150 y 120 kg.ha⁻¹, respectivamente; pero sin diferencias significativas entre estas dos densidades, superando estadísticamente a la densidad de 85 kg.ha⁻¹.

A pesar de que entre las combinaciones de dosis de nitrógeno y densidades de siembra 120 con 150 kg.ha⁻¹ y 120 con 120 kg.ha⁻¹, no se encontraron diferencias estadísticas del rendimiento agrícola es superior el rendimiento agrícola en 1,42 t.ha⁻¹, empleando 30 kg.ha⁻¹ menos de semilla, cuando se aplicaron 120 kg.ha⁻¹ de nitrógeno con una densidad de 120 kg.ha⁻¹ de semilla.

Es importante resaltar el descenso del rendimiento agrícola cuando aumenta hasta 150 kg.ha⁻¹, la densidad de población, provocado probablemente por la insuficiencia en la disponibilidad del nitrógeno, al aumentar a ese nivel la densidad de población.

Tabla 3. Eficiencia en el uso del fertilizante (EUF), en kg de grano producido por kg de fertilizante aplicado para los tratamientos estudiados

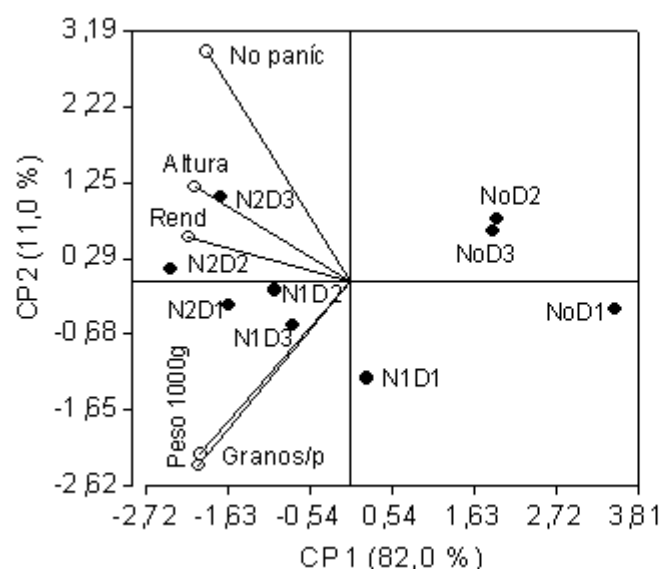
Eficiencia en el uso del fertilizante	N0D1	N0D2	N0D3	N1D1	N1D2	N1D3	N2D1	N2D2	N3D3
	0	0	0	0,0077	0,0124	0,0073	0,0098	0,0119	0,0108

Los mejores valores respecto a la eficiencia en el uso del fertilizante (Tabla 3), correspondió a las combinaciones de 80 kg.ha⁻¹ de nitrógeno con 120 kg.ha⁻¹ de densidad de siembra y 120 kg.ha⁻¹ de nitrógeno con 120 kg.ha⁻¹ de semillas.

La representación biplot del análisis de componentes principales (Figura 2), muestra que la componente uno (más importante), explica el 82 % de la variabilidad total, mientras que la componente dos el 11 por ciento, para un 93 por ciento total, evidenciando la alta

correlación existente entre las variables seleccionadas.

Con relación a los autovectores, para la componente uno, que explica la mayor variabilidad, las cinco variables fueron importantes, sólo teniendo importancia para la componente dos el número de panículas.m⁻², peso de 1000 granos y la cantidad de granos/panícula. Por otra parte el valor alcanzado por el coeficiente de correlación cofenética evidenció la calidad de la reducción de la dimensionalidad lograda con el empleo del análisis de componentes principales.



Autovectores		
Variables	e1	e2
Rendimiento	-0,48	0,12
No. paníc.m ⁻²	-0,42	0,64
Peso 1000 gr.	-0,45	-0,52
Altura	-0,45	0,26
Granos/pan.	-0,44	-0,49

Figura 1. Representación biplot del análisis de componentes principales con la interrelación entre las variables seleccionadas y las combinaciones de niveles de nitrógeno y densidad de siembra, se incluyen los autovectores.

Con el empleo de este tipo de análisis multivariado, se puso de manifiesto la escasa relación entre las combinaciones que no incluían la aplicación de nitrógeno con la respuesta de la planta a través de las variables seleccionadas, demostrando la importante función que representan niveles adecuados de nitrógeno en el suelo. El otro extremo quedó plasmado cuando se aplicaron 150 kg.ha⁻¹ de nitrógeno con 120 kg.ha⁻¹ de semilla (N2D3), en que las plantas no alcanzaron el máximo rendimiento, pero sí la mayor altura, evidenciando que excesivas cantidades de este elemento en el suelo promueven mayor desarrollo vegetativo; pero no necesariamente trae aparejado mayor rendimiento agrícola.

El Nitrógeno es la variable ambiental más relevante en la fijación del rendimiento en arroz. Este elemento es responsable de procesos fisiológicos como morfogénesis, crecimiento foliar, fotosíntesis y senescencia (De Datta, 1981). Aunque los avances más recientes hacen énfasis en los procesos implicados en su ciclo en el arrozal (Carrasco y col., 2004) y la utilización de los fertilizantes por la planta (Fernández-Valiente, 2000).

CONCLUSIONES

1. El número de panículas.m⁻² fue el carácter que más influyó sobre el rendimiento agrícola de la variedad IIAC-20.

2. El mayor rendimiento agrícola se alcanzó cuando se aplicaron 120 kg.ha⁻¹ de nitrógeno y 120 kg.ha⁻¹ de densidad de siembra, con una alta eficiencia en el uso del fertilizante.

3. Se puso de manifiesto la utilidad del empleo de las representaciones biplot del análisis de componentes principales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alonso, Vivian y R. Ortiz. 1984. Análisis de coeficientes de sendero de los principales componentes del rendimiento agrícola en diferentes fases del lote clonal de la caña de azúcar. *Cultivos Tropicales*, 6(4):805-811.

2. Carrasco, D.; E. Fernández-Valiente; Y. Ariosa y A. Quesada. 2004. Measurement of coupled nitrification-denitrification in paddy fields affected by Terrazol, a nitrification inhibitor. *Biol.Fertil.Soils*. 39:186-192.

3. CIAT, 1982. Fertilización nitrogenada del arroz. Guía de estudio. 40 pp

4. Chandler, C. R. 1995. Practical considerations in the use of simultaneous inference for multiple test. *Anim. Behav*, 49:524-527.

5. Cruz,F,L.Rivero, R. (1981). Comportamiento de la variedad de arroz IR-1529 bajo el efecto de dos métodos y cuatro densidades de siembra. *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Arroz. Vol4(29)*.

6. De Datta, S.K. 1981: Principles and Practices of Rice Production. International Rice Research Institute (IRRI). Los Baños. Philippines.618 p.

7. Fernández-Valiente, E.; A. Ucha; A. Quesada; F. Leganés y R. Carreres. 2000. Contribution of N₂ fixing cyanobacteria to rice production: availability of nitrogen from ¹⁵N-labelled cyanobacteria and ammonium sulphate to rice. *Plant Soil*. 221:109-114.

8. FLAR, 1997. El arroz tiene que estar en los planes de desarrollo agropecuario sostenible. Foro Arroceros Agropecuario.Boletín Informativo.Vol 3(1): 16 .

9. Gabriel, K. R. 1971. The Biplot graphic display of matrices with applications to principal components analysis. *Biometrika*, 58(3):453-467.

10. Gutierrez, 1988.Distribución, muestreo, dinámica de población, niveles críticos poblacionales y control de Oebalus insulares Stal en el cultivo del arroz. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana.

11. Hotelling, H. 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24: 498-520.

12. Instructivo Técnico del Cultivo del Arroz.1993.

13. Jaramillo, S.; E. Pulver y Myriam C. Duque. 2002. Efecto del manejo de la fertilización nitrogenada en arroz de riego, sobre la expresión del potencial de rendimiento de líneas élites y cultivares comerciales. Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 12 pp.

14. Rao, A. V.; C. S. Rao y A. S. Prasad. 1980. Path coefficient análisis in some late-maturing rice varieties. *Indian J. Agric. Sci.*,50(2):135-138.

15. Rice, W. R. 1989. Analysing tables of statistical test. *Evolution*, 43:223-225.

16. SAS Institute. 2000. Statistical Analysis System. SAS Institute. User's Guide. Version 8.0. SAS Institute, Inc., Cary, North Carolina, USA. 3884 p.

17. Sigarroa, A. 1987. Paquete Estadístico para BASIC. Facultad de Biología. Universidad de la Habana.

18. SPSS. 2001. Release 11.0. USA.

19. Swaminatan, M, S. 1989. La larga marcha de una generosa gramínea. El correo.UNESCO: 1-8.

20. Wright, S. 1931. The method of path coefficients. *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 5: 161-215. The seminal article.

21. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. International Research Institute, Philippines. 269 pp.

Recibido: 17/06/2010

Aceptado: 11/01/2011