

EFFECTOS DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANOS DE ARROZ DEL CULTIVAR CENTAURO EN VENEZUELA¹

EFFECTS OF PLANTING DENSITY AND NITROGEN FERTILIZATION ON THE GRAIN YIELD OF RICE CULTIVAR CENTAURO IN VENEZUELA¹

Marco A. Acevedo Barona*, Margelys Salazar*, Willian A. Castrillo Fuentes*, Orlando J. Torres Angarita*, Edicta R. Reyes Ramone*, María Navas*, Rosa M. Álvarez Parra*, Orlando J. Moreno* y Edgar Torres Toro**

¹Financiado por convenio INIA-FUNDARROZ

*Investigadores(as). INIA Guárico, Barinas y Portuguesa. Venezuela. **Investigador. FLAR/CIAT Colombia. Correo electrónico: macevedo@inia.gov.ve, msalazar@inia.gov.ve

RESUMEN

Con el objeto de evaluar el efecto de densidades de siembra y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de granos de arroz, *Oryza sativa* L., del cultivar CENTAURO, se establecieron ensayos durante el ciclo de riego 2006-2007 en las tres principales zonas de producción del país. Se evaluaron tres niveles de densidad de siembra (Ds) y cuatro dosis de nitrógeno (DN). El diseño estadístico utilizado fue de bloques completos al azar con arreglo en franjas. Se evaluó rendimiento de granos kg ha⁻¹, ajustado al 12% de humedad y características secundarias. Se realizaron análisis de varianza, media y análisis multivariado de componentes principales (CP). Los análisis individuales por localidad y conjunto detectaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) para las DN en todas las localidades y diferencias significativas para la Ds solo en Barinas, la interacción DNxDs resultó altamente significativa en Barinas y Guárico, no así en Portuguesa, posiblemente debido a la alta variación experimental. Todos los resultados sugieren que el cultivar CENTAURO presenta una respuesta diferencial a la aplicación de N ($120 \leq DN \leq 200$) kg ha⁻¹ para el rendimiento de granos kg ha⁻¹. El análisis conjunto de la varianza para DN, Loc, DNxLoc y DNxDs resultó significativo al 1% y 5%, respectivamente, con predominancia de las variancias de localidades, seguida de DNxLoc, DN y DNxDs. El análisis de CP y la doble representación (biplot) resultaron de gran utilidad para estudiar la interacción de ambos factores (DNxDs).

Palabras Clave: *Oryza sativa* L.; manejo agronómico; nitrógeno; densidad de siembra; cultivar CENTAURO.

SUMMARY

In order to evaluate the effect of planting density and nitrogen fertilization on the grain yield, *Oryza sativa* L. of CENTAURO, trials were established during the 2006-2007 irrigation cycle in the three main production areas of the country. The design was a randomized complete block arranged in stripes, the (DN) is located in the main plots and (Ds) in the secondary plots with three replications. Grain yield was evaluated in kg ha⁻¹, adjusted to 12% moisture. Analyses of variance were conducted individual and group, Tukey mean analysis and multivariate analysis of principal components. The analysis individually and group by location allowed to detect significant differences ($P \leq 0.01$) for DN in all locations and significant differences Ds in Barinas, DNxDs interaction was highly significant in Barinas and Guárico, while in Portuguesa it was not detected possibly due to high experimental variation. All these results suggest that the cultivar CENTAURO presents a differential response to nitrogen application ($120 \leq DN \leq 200$) kg ha⁻¹ for grain yield. The group analysis the sources of variation in DN, Loc, DNxDs and DNxLoc were significant at 1% and 5%, respectively. The variation is predominance in the locations, followed by DNxLoc, DN and DNxDs. It was found that the principal components analysis and the use of dual representations (Biplot) are useful for studying the interaction of both factors (DNxDs).

Key Words: *Oryza sativa* L.; agricultural management; nitrogen; planting density; cultivar CENTAURO.

RECIBIDO: febrero 10, 2011

APROBADO: mayo 04, 2012

INTRODUCCIÓN

En Venezuela la producción de arroz, *Oryza sativa* L., está concentrada en las regiones de los llanos occidentales (estados Portuguesa, Barinas y Cojedes) y llanos centrales en el estado Guárico (Páez *et al.*, 2004), con cierto potencial de expansión hacia el estado Zulia, donde el cultivo ha venido desarrollándose en los últimos años.

El rendimiento promedio obtenido en los ciclos más recientes en el país se ubica alrededor de los 5 500 kg ha⁻¹, el cual es considerado alto si se compara con los valores promedios de otros países de Latinoamérica como Cuba, Panamá y Bolivia. Sin embargo, estos valores están por debajo del potencial de rendimiento en granos de los nuevos cultivares. Existen varios factores que, actuando juntos o independientes, pudieran interferir para alcanzar este potencial, entre ellos: la cantidad de semilla utilizada, la fertilización con nitrógeno (N), la preparación de suelos, el control de malezas, las plagas y las pérdidas durante la cosecha.

En este sentido, Pulver y Jennings (1997), consideran que para dar un manejo adecuado del producto de la investigación deben asociarse ciertos aspectos relacionados, por ejemplo: para fertilización, el requerimiento del cultivo con niveles de fertilidad en el suelo y control de malezas con preparación del terreno; mientras que para la densidad de siembra (Ds) los estudios deben considerar las necesidades óptimas en relación con la preparación de suelos.

En arroz, la productividad de granos está en función del potencial genético del cultivar y de las condiciones ambientales (manejo). La fertilización se considera una práctica fundamental para obtener mayores rendimientos de granos. Los requerimientos del cultivo varían según las condiciones y características del sistema de producción. La cantidad de N requerida por la planta varía de acuerdo a la fase de desarrollo y de las condiciones ambientales. El período de mayor absorción en la planta se ubica en las siguientes fases: (a) máximo macollamiento afectando el número de tallos por área y número de panículas; (b) fase reproductiva, inicio de floración afectando número de granos por panícula (Scivittaro y Machado, 2004).

En este orden de ideas, se considera al N la variable ambiental más relevante en la determinación del rendimiento en arroz. Siendo responsable de procesos fisiológicos fundamentales como la morfogénesis, crecimiento foliar, fotosíntesis y senescencia. Además, forma parte de todas las proteínas y de muchos componentes no proteicos (De Datta

et al., 1981). Por otra parte, Fageria *et al.* (2003) señalan que después del potasio, el N es el nutrimento que más acumula la planta de arroz, indicado como componente de la clorofila y determinante del crecimiento foliar, lo cual induce una mayor eficiencia de intercepción de la radiación solar y de la tasa fotosintética, con el consecuente incremento en la producción de granos.

Los mismos autores señalan que el N reviste mayor importancia desde el punto de vista del aprovechamiento y la eficiencia de utilización por la planta, por cuanto su aplicación en suelos inundados está sujeta a diversos procesos de pérdida. En este sentido, existen estudios que demuestran que la eficiencia con que la planta utiliza el fertilizante nitrogenado está entre 20 y 40% del N aplicado (De Datta y Broadbent, 1988).

Resultados obtenidos por Páez *et al.* (2004), indican que el modo en que los productores de arroz aplican los fertilizantes nitrogenados contribuye con la baja eficiencia, debido a que la misma se hace sobre lámina de agua o sobre barro, provocando pérdidas por volatilización del N amoniacal, nitrificación, y posterior desnitrificación, inmovilización biológica, fijación por minerales arcillosos, lixiviación y lavado, cuyos valores de pérdida oscilan entre el 60 y 80%. De todos los procesos indicados, la desnitrificación es considerado el principal mecanismo de pérdida de N bajo estas condiciones; según la reacción $2\text{NO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e}^- \rightarrow \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$, entre tanto que los microorganismos anaeróbicos utilizan la forma oxidada del N (NO_3^-) como receptor de electrones durante la descomposición de los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno y lo reducen a N_2 ó N_2O , que es liberado en forma de gas (Fageria *et al.*, 2003). Asimismo, las aplicaciones de urea sobre lámina de agua incrementan significativamente la contaminación atmosférica por emisiones de N_2 (David *et al.*, 1994).

Por su parte, Páez (1991) mostró que la aplicación de fertilizantes al cultivo de arroz permite respuestas positivas y, se estima que en el caso particular del N puede lograrse un incremento en la producción de arroz Paddy de 20 a 40 kg por cada kilogramo que se aplique del elemento. Sin embargo, estudios realizados demuestran que existen marcadas diferencias varietales respecto a la respuesta óptima del rendimiento en granos, al ser sometidas a diferentes cantidades de N (Rico y De Datta, 1982; Rodríguez *et al.*, 2002).

De igual manera, Silva *et al.* (2007) evaluaron dos cultivares de arroz (IRGA 410 e IRGA 417) sobre diferentes dosis de nitrógeno (DN) en condiciones de riego, encontrando que la IRGA 417 respondió favorablemente

a la aplicación de 120 kg ha⁻¹; mientras, ocurre lo contrario con IRGA 410. Además, no hubo correlación entre el contenido de N en la fase vegetativa y la productividad obtenida al final de ciclo. Estas variaciones propias del cultivar se pueden atribuir generalmente a tasas diferenciales de asimilación de N y velocidad en la síntesis de proteínas (Kumura, 1956).

La semilla es otro insumo estratégico, la cantidad a ser utilizada en la siembra debe establecerse adecuadamente, de acuerdo al cultivar, a la época de siembra y al tipo de suelo (Infeld y Zonta, 1987; Pedroso, 1987). Trabajos llevados a cabo en Venezuela con diferentes cultivares de arroz, revelan que cantidades de semilla en el orden de 120 a 130 kg ha⁻¹, son suficientes para el establecimiento de una aceptable población de plantas en campo; así mismo, el uso de Ds superiores a la señalada trae consigo problemas relacionados con la competencia dentro del cultivo, determinando al final del ciclo plantas con menor desarrollo, escaso macollamiento y panículas más cortas que las de una planta normal (Páez, 1991).

Por otro lado, Martínez (1998) agrega que los productores de Venezuela usan en promedio 150 a 160 kg ha⁻¹ de semilla, alegando que emplean altas Ds para contrarrestar los posibles problemas por aves, deficiente nivelación y mala calidad de la semilla. Pedroso (1987) evidenció que altas densidades de semilla no siempre resultan en alta población inicial de plantas. Igualmente, utilizó tres Ds (100, 150 y 200 kg ha⁻¹) y obtuvo una población inicial que varió entre 240 a 340 plantas por m².

Counce (1987) obtuvo respuestas diferenciales de cultivares de arroz de riego con respecto al rendimiento de granos con el aumento de la Ds, las cuales atribuyó al año, localidad y cultivar utilizado. Rieffel Neto *et al.* (2000) evaluaron tres experimentos sembrados en diferentes épocas (ciclos), utilizando distintas densidades de plantas en sistemas de arroz con riego, encontrando que para los genotipos estudiados es posible recomendar densidades bajas de siembra entre 30 y 90 kg ha⁻¹, siempre que hayan condiciones de cultivo, con adecuado control de maleza, fertilización básica y nitrogenada, correcto manejo del riego y semilla de alta calidad.

Cuevas *et al.* (1995) señalan que en latinoamérica, la liberación de nuevos cultivares, con el tipo moderno de planta en el que se modifican características morfo-fisiológicas, resultó en un aumento del índice de cosecha de 0,3 a 0,5 y de la producción de arroz en 20%. Este modelo de planta posee algunas características bioquímicas, fisiológicas y morfológicas que, interactuando

de manera conjunta, pueden incrementar hasta 25% el potencial de rendimiento.

En virtud de los pocos trabajos publicados sobre densidad, fertilización y su interacción en arroz, además de la inconsistencia de los resultados encontrados y tomando en cuenta el desarrollo del nuevo cultivar de arroz CENTAURO, se planteó como objetivo principal del presente estudio, evaluar el efecto de tres niveles de la Ds y cuatro DN sobre el rendimiento de granos Paddy en kg ha⁻¹ a través del análisis de la varianza convencional y multivariado (componentes principales).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la época de riego (ciclo norte-verano 2006-07) en los Campos Experimentales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) ubicados en Barinas, Guárico y Portuguesa, principales regiones productoras de arroz del país.

Los campos experimentales corresponden a series de suelos apropiadas para la producción comercial de arroz que en la actualidad están destinadas a la siembra e investigación de este rubro. Con base en los resultados del análisis de suelo, se establecieron los niveles de fertilización química en 80 kg de P₂O₅ y 80 kg de K₂O antes de la siembra, incorporándola en el suelo seco.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con arreglo en franjas; en la franja principal se ubicaron las DN, probándose las siguientes: DN₁ 80, DN₂ 120, DN₃ 160 y DN₄ 200 kg ha⁻¹; se aplicaron dos reabonos con urea en dosis de 50 kg ha⁻¹, el primero a los 25-30 días después de la germinación (DDG) y el segundo a los 45-50 DDG. Las franjas secundarias fueron aleatorizadas y se ubicaron las Ds₁ 80, Ds₂ 140 y Ds₃ 200 kg ha⁻¹, en tres repeticiones.

La preparación del suelo se realizó con labranza convencional. Para la siembra se utilizó semilla pre-germinada del cultivar CENTAURO, diseminada al voleo, en las fechas comprendidas entre el 15 de noviembre al 15 de diciembre, en el ciclo de riego. Se evaluó el rendimiento en kg ha⁻¹ ajustados al 12% de humedad, así como otros caracteres secundarios de interés como altura de planta (AP) en centímetros; número de tallos (NT) por metro cuadrado; número de granos (NG) por panícula y número de granos llenos (NGLL) por panícula para ser estudiados en el análisis multivariado de componentes principales de Hotelling (1933).

Los análisis estadísticos de varianza se realizaron al 1% y 5%, mientras que la comparación múltiple de media de Tukey fue al 5%. Se verificó el cumplimiento de los supuestos del análisis de varianza; la homogeneidad de las varianzas a través de la prueba de Bartlett. El paquete estadístico utilizado fue procedimiento GLM del SAS (SAS, 2003) e Infostat/profesional, versión 1.1 (2002). Para el análisis de las medias de la interacción DsxDN, se calculó un valor crítico (Q_{DsxDN}) ponderado de la siguiente manera:

$$Q_{(DsxDN)} = \frac{(gIDs * QDs + gIDN * QDN)}{(gIDs + gIDN)}, \text{ donde}$$

Donde: gl se refiere a los grados de libertad del análisis de varianza de los factores principales y Q al valor crítico o error estándar del análisis de media.

Los análisis de varianza fueron complementados con el análisis de componentes principales (ACP), basados en el análisis de Hotelling (1933). El ACP es una técnica estadística utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto inicial de datos. Intuitivamente, la técnica permite hallar las causas de la variabilidad del conjunto original de datos y ordenarlas por su importancia. Los componentes principales (CP) serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí. Para construir esta combinación lineal debe elaborarse primero la matriz de covarianza o matriz de coeficientes de correlación.

Según Bernardo (2002), un ACP tiene sentido si existen altas correlaciones entre las variables, ya que esto es indicativo de que existe información redundante y, por tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total. La elección de los CP se realiza de tal forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original; el segundo factor debe contener la máxima variabilidad posible no recogida por el primero, y así sucesivamente. Del total de CP se elegirán aquellos que posean un porcentaje de variabilidad con valores superiores o iguales a 75%, dependiendo del origen de las variables estudiadas. No hay una regla definida sobre el número que se debe utilizar, por lo que se debe decidir en función del número de variables iniciales (hay que recordar que se trata de reducirlas en la medida de lo posible) y de la proporción de varianza explicada acumulada.

El ajuste del modelo fue implementado mediante análisis computacional Infostat (2007), versión 1.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza por localidades. Se puede observar que el factor principal DN resultó altamente significativo ($P \leq 0,01$) en las tres localidades, indicando que el rendimiento en grano Paddy en el cultivar CENTAURO responde de manera diferencial a las DN aplicadas, es decir, se detectó diferencias estadísticas significativas en al menos un contraste entre las medias de los tratamientos evaluados.

CUADRO 1. Análisis de varianza por localidad para rendimiento en grano Paddy.

F de V	G de L	CM		
		Barinas	Guárico	Portuguesa
Bloques	2	250 877	200 276	9 289 750
Dosis Nitrógeno (DN)	3	3 276 426**	1 244 000**	3 710 990**
Error(a)	6	366 766	452 233	503 928
Densidad de siembra (Ds)	2	1 598 297*	25 627 N.S.	1 059 506 N.S.
Error(b)	4	168 064	345 011	437 479
DN x Ds	6	566 710*	611 39*	271 670 N.S.
Error	12	152 371	202 880	649 476
Total	35			
Media		6 100,9	8 059,1	5 734,7
CV%		6,4	10,3	25,6

*= significativa; **= altamente significativa; N.S.= no significativa.

CM: contraste de medias; F de V: factores de variación; G de L: grados de libertad.

La fuente de variación Ds resultó significativa ($P \leq 0,05$) en la localidad de Barinas, lo cual permite indicar que el rendimiento en grano del cultivar CENTAURO presenta un comportamiento diferencial cuando se utilizan diferentes cantidades de semilla, caso contrario ocurrió en las localidades de Guárico y Portuguesa, donde esta fuente de variación resultó no significativa.

Cuando se estudia la interacción de ambos factores (DNxDs) el análisis detecta diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en las localidades de Barinas y Guárico, sugiriendo que la interacción de ambos factores afecta el rendimiento de granos en el cultivar, lo contrario ocurre en Portuguesa.

En forma general la mejor media por localidad se obtuvo en Guárico, seguida por Barinas y Portuguesa con 8 059, 6 100 y 5 735 kg ha⁻¹, respectivamente. Con respecto a la precisión de los ensayos esta fue mayor en la localidad de Barinas, seguido de Guárico y Portuguesa, con CV% de 6, 10 y 26, respectivamente. Estos valores se consideran bajos, excepto para Portuguesa, por ser la variable estudiada (rendimiento en granos) un carácter cuantitativo, altamente afectada por el ambiente. En la literatura otros autores han reportado para rendimiento en granos valores que oscilan entre 5,8 y 16% (Rico *et al.*, 1992; Gindri *et al.*, 1996 y Rodríguez *et al.*, 2002).

En el Cuadro 2 se presentan los contrastes de medias por localidad de las DN para rendimiento en grano paddy. Es posible observar que el cultivar CENTAURO responde positivamente a la aplicación de fertilizante nitrogenado en cantidades superiores a los 120 kg ha⁻¹. En este sentido, Guárico obtuvo los mejores rendimientos con 200 kg ha⁻¹, en Barinas con 160 kg ha⁻¹ y en Portuguesa con 120 kg ha⁻¹. Esta respuesta diferencial puede estar asociada a varios factores, tales como: (a) tipo de planta, específicamente capacidad de macollamiento y potencial productivo; el macollamiento en arroz esta asociado a la plasticidad de respuesta a la Ds, ya que interfiere en el rendimiento de granos y (b) condiciones climáticas: específicamente radiación solar y temperatura, ambos determinantes de la expresión del potencial productivo y consecuentemente de su respuesta a la aplicación de N. Por otro lado, los tipos de suelos donde se evaluaron los ensayos presentan características físico-químicas similares y de textura franca, con tendencia en Guárico al mayor contenido de arcilla.

Así mismo, Rico *et al.* (1992) concluyeron que los mejores rendimientos de granos en arroz se lograron en la medida que se incrementó la DN, hasta 160 kg ha⁻¹. Sin embargo,

Rodríguez *et al.* (2002) encontraron en ambos cultivares evaluados una relación directa entre rendimiento y DN aunque CIMARRÓN presentó menor potencial de rendimiento en comparación con FONAIAP 1, lo que permite concluir que el desempeño final está condicionado por el genotipo.

CUADRO 2. Análisis de media para rendimiento en grano Paddy para el factor principal dosis de nitrógeno.

Barinas		Guárico		Portuguesa	
kg ha ⁻¹	\bar{X}	kg ha ⁻¹	\bar{X}	kg ha ⁻¹	\bar{X}
160	6 844,0a	200	9 331,3a	120	7 198,8a
80	6 219,3b	120	8 698,9a	80	5 395,0b
120	5 948,4bc	160	7 440,3b	200	5 251,0b
200	5 391,9c	80	6 765,8c	160	5 093,5b

Medias seguidas por letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples de Tukey $\alpha=0,05$.

En este sentido, CENTAURO se caracteriza por ser un cultivar del nuevo tipo de planta con alto potencial de rendimiento, donde predominan panículas largas, con alta cantidad de granos (superior a 200) y macollamiento con tallos fuertes resistentes al acame. En virtud de lo anterior, para satisfacer sus necesidades fisiológicas, este cultivar debe extraer altas cantidades de nutrimentos del suelo, especialmente N, elemento esencial en la morfogénesis, crecimiento foliar, fotosíntesis y senescencia.

Rodríguez *et al.* (2002) señalan que los cultivares venezolanos son de alto potencial de rendimiento con buena respuesta a la fertilización nitrogenada, lo cual implica que es fundamental la determinación de la dosis adecuada por cuanto un exceso puede afectar al cultivo negativamente.

El Cuadro 3 demuestra los contrastes de medias por localidad de la Ds para la variable rendimiento en granos, observándose que en todas el mayor rendimiento se obtuvo con 80 kg ha⁻¹ de semilla, siendo significativa en Barinas, mientras que en Guárico y Portuguesa no significativa. También, es posible observar que en Barinas, los menores rendimientos se obtuvieron con la mayor Ds utilizada, respuesta asociada probablemente al estrés debido por las enfermedades y la competencia entre plantas por la disponibilidad del N. Ambos interfieren negativamente en los componentes de rendimiento y en conse cuencia,

en el rendimiento de granos. Estos resultados están en concordancia con los presentados por Counce (1987) quien obtiene respuestas diferentes con el aumento de la Ds y lo atribuye a factores como: año, localidad y genotipo evaluado.

CUADRO 3. Análisis de media para rendimiento en grano Paddy para factor principal densidad de semilla.

Barinas		Guárico		Portuguesa	
kg ha ⁻¹	\bar{X}	kg ha ⁻¹	\bar{X}	kg ha ⁻¹	\bar{X}
80	6 489,8 a	80	8 103,8 a	140	6 031,9 a
140	6 047,0 ab	140	8 061,8 a	200	5 734,6 a
200	5 765,9 b	200	8 011,5 a	80	5 437,6 a

Medias seguidas por letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples de Tukey $\alpha=0,05$.

Páez y Barrios (1995), muestran que en el cultivar ARAURE 4, la Ds entre 140 y 180 kg ha⁻¹, manejado con diferentes láminas de agua de riego, no inciden en el establecimiento final de la población de plantas en el cultivo. Resultados similares fueron obtenidos por Rodríguez *et al.* (2002) utilizando los cultivares CIMARRÓN y FONAIAP 1.

El cultivar CENTAURO responde satisfactoriamente al rendimiento de granos cuando se utilizan bajas Ds, esto podría atribuirse a la alta capacidad de macollamiento, así como al mayor número de tallos fértiles y mayor longitud de las panículas, y consecuentemente mayor NG.

Como se aprecia, la discusión estuvo centrada en los valores medios de ensayos individuales por localidad, los resultados obtenidos no demuestran tendencias claras para la DN, caso contrario ocurre con el factor Ds, donde la tendencia sería a utilizar la menor cantidad de semilla (80 kg ha⁻¹), ya que existe buena expresión fenotípica, posiblemente debido a compensación por la morfología y fisiología del nuevo cultivar.

Los resultados hasta ahora discutidos están influenciados por la interacción genotipo x ambiente (GxA), fenómeno de gran importancia para el fitomejorador. Ramalho *et al.*, (2000), explicaron que el efecto ambiental siempre se presenta como un factor de incertidumbre en la estimación de los parámetros genéticos y en la toma de decisiones sobre el comportamiento del mejor cultivar. Una

forma de disminuir su efecto, determinar su magnitud, así como medir el impacto relacionado a la recomendación de los cultivares y manejo, es a través de la utilización de diseños estadísticos apropiados, repetidos en diferentes ambientes. En la literatura revisada existen escasos trabajos en arroz sobre DN y Ds realizados en entornos heterogéneos y analizados de manera conjunta. Los pocos reportados realizan análisis individual debido a la complejidad para explicar las interacciones de tercer grado.

En el Cuadro 4, se presentan los cuadrados medios del análisis conjunto de las distintas fuentes de variación y su significancia para rendimiento en grano Paddy (kg ha⁻¹). No fue incluida Portuguesa por no poder superar la prueba de homogeneidad de varianza del error, posiblemente debido a la alta variación experimental.

CUADRO 4. Análisis de varianza combinado para rendimiento de granos Paddy.

F de V	G de L	CM
Dosis de nitrógeno (DN)	3	5 474 489**
Densidad de siembra (Ds)	2	1 011 066N.S.
Localidades (Loc)	1	9 020 753**
DNxDs	6	1 014 243*
DNxLoc	3	12 600 212**
DsxLoc	2	612 857N.S.
DNxDsxLoc	6	163 858N.S.
Error	48	450 344
Total	71	

*= significativa; **= altamente significativa
N.S.= no significativa

Se puede observar que las fuentes de variación DN, Loc, DNxLoc y DNxDs resultaron significativas al 1% y 5%, respectivamente; con predominancia de las varianzas de localidades, seguida de DNxLoc, DN y DNxDs. Estos resultados permitieron corroborar los obtenidos en los análisis individuales de DN y DNxDs, sugiriendo que la cantidad de fertilizante nitrogenado aplicado y las Ds utilizadas afectan el rendimiento de granos, e interactúan entre ellos. Mientras, la DN está altamente afectada por la localidad, no así el factor Ds.

En la Figura 1 se presentan las medias del análisis conjunto del rendimiento de granos con diferentes DN utilizadas. Se observa que el cultivar CENTAURO responde favorablemente a las DN crecientes de 80, 120,

160 y 200 kg ha⁻¹, aún cuando en la figura, el cultivar no alcanza el umbral máximo esperado de respuesta fisiológica, la tasa de desempeño entre las DN mayores es de 38 kg ha⁻¹, indicando la proximidad del punto máximo. No obstante, sería pertinente realizar el análisis económico para evaluar la factibilidad de aplicación de dichas DN. El análisis de las medias de Tukey formó dos grupos, en el “a” se ubicaron las medias del rendimiento de la DN intermedia-alta y en el “b” las DN más baja.

Es válido mencionar que aun cuando en este primer grupo no se detectó diferencias significativas entre las medias, se obtuvo diferencias en magnitud en el orden de 220 kg ha⁻¹. Estos resultados y los criterios de sostenibilidad del sistema productivo de arroz permitirían recomendar de manera general, para el cultivar CENTAURO, DN iguales a 120 kg ha⁻¹ y no superior a 160 kg ha⁻¹, con aplicación fraccionada entre los 25 y 50 DDG.

En este mismo orden de ideas, el análisis de la fuente de variación DNxLoc resultó altamente significativa con la segunda mayor varianza después de localidades; indicando que existe una interacción importante entre ambos factores. En tal sentido, no sería adecuado recomendar un único manejo para el referido cultivar y sí uno por localidad. Así, para el caso particular de Guárico, se recomienda dosis mínima de 120 y máxima de 200 kg ha⁻¹; para Barinas dosis entre 120 y 160 kg ha⁻¹ y para Portuguesa aún cuando no es fácil dar una recomendación de manejo, ya que el ensayo no permite ser conclusivo en virtud de la alta variación experimental, se pudo comprobar que la dosis de 120 kg ha⁻¹ produce respuesta aceptable en rendimiento de granos, coincidiendo con las dosis mínimas sugeridas en las otras localidades.

Con el objetivo de hacer una discusión integral y más completa que permita explicar la interacción de ambos factores conjuntamente con diversas variables secundarias que determinen el desempeño del nuevo cultivar, se realizó el análisis multivariado de CP de Hotelling (1933), asumiendo como tratamientos las 12 combinaciones de los niveles de los dos factores con las variables: rendimiento de granos, NT, AP, NG y NGLL.

El análisis multivariado de CP, arrojó los siguientes resultados: (1) Los CP₁ y CP₂ explicaron el 73%, 62%, 65% y 11%, 18%, 14% de la variabilidad, respectivamente, para un 84%, 80%, 79% de la variabilidad total que es expresada para las localidades Guárico, Barinas y análisis conjunto, respectivamente. Estos valores de representatividad del análisis de CP permiten una explicación más elocuente de la interacción; (2) la doble representación gráfica (Biplot) de los CP mostradas en las Figuras 2, 3 y 4, proporciona un análisis integral de la interacción de ambos factores y compara el desempeño de todas las variables estudiadas (Rend, NT, AP, NG y NGLL), poniendo en evidencia de forma más clara el análisis de los resultados y facilitando la interpretación para la toma de decisiones.

En Guárico (Figura 2) se pudo demostrar que el cultivar CENTAURO responde favorablemente a la aplicación de DN evidenciando que el mejor desempeño se logra con DN de 200 y 160 kg ha⁻¹, que corresponde a las DN₄ y DN₃, lo contrario se obtuvo con DN₁ baja (80 kg ha⁻¹), similar explicación es dada para las otras variables, mostrando que DN alta también acarrea un excesivo crecimiento (AP) promoviendo un mayor desarrollo vegetativo y posiblemente problemas de acame, aun cuando el análisis no fue significativo.

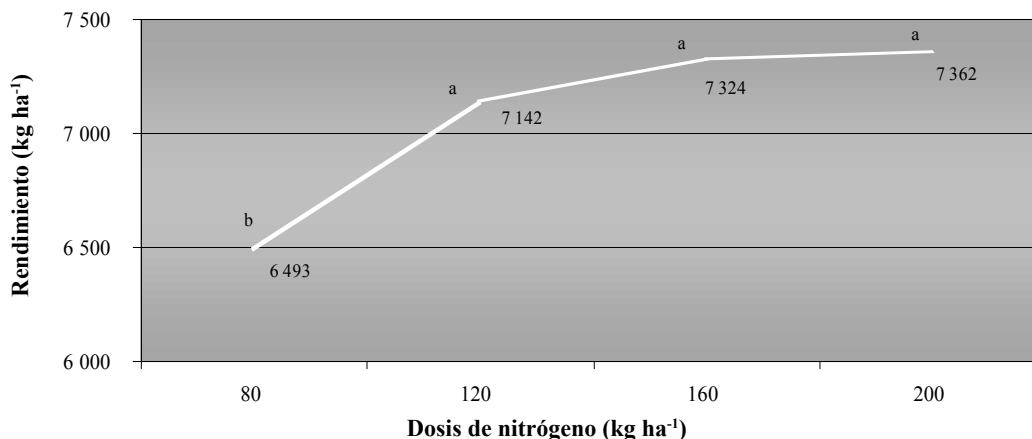


FIGURA 1. Comparación del rendimiento en granos del cultivar CENTAURO con diferentes dosis de nitrógeno, utilizando medias de análisis combinado.

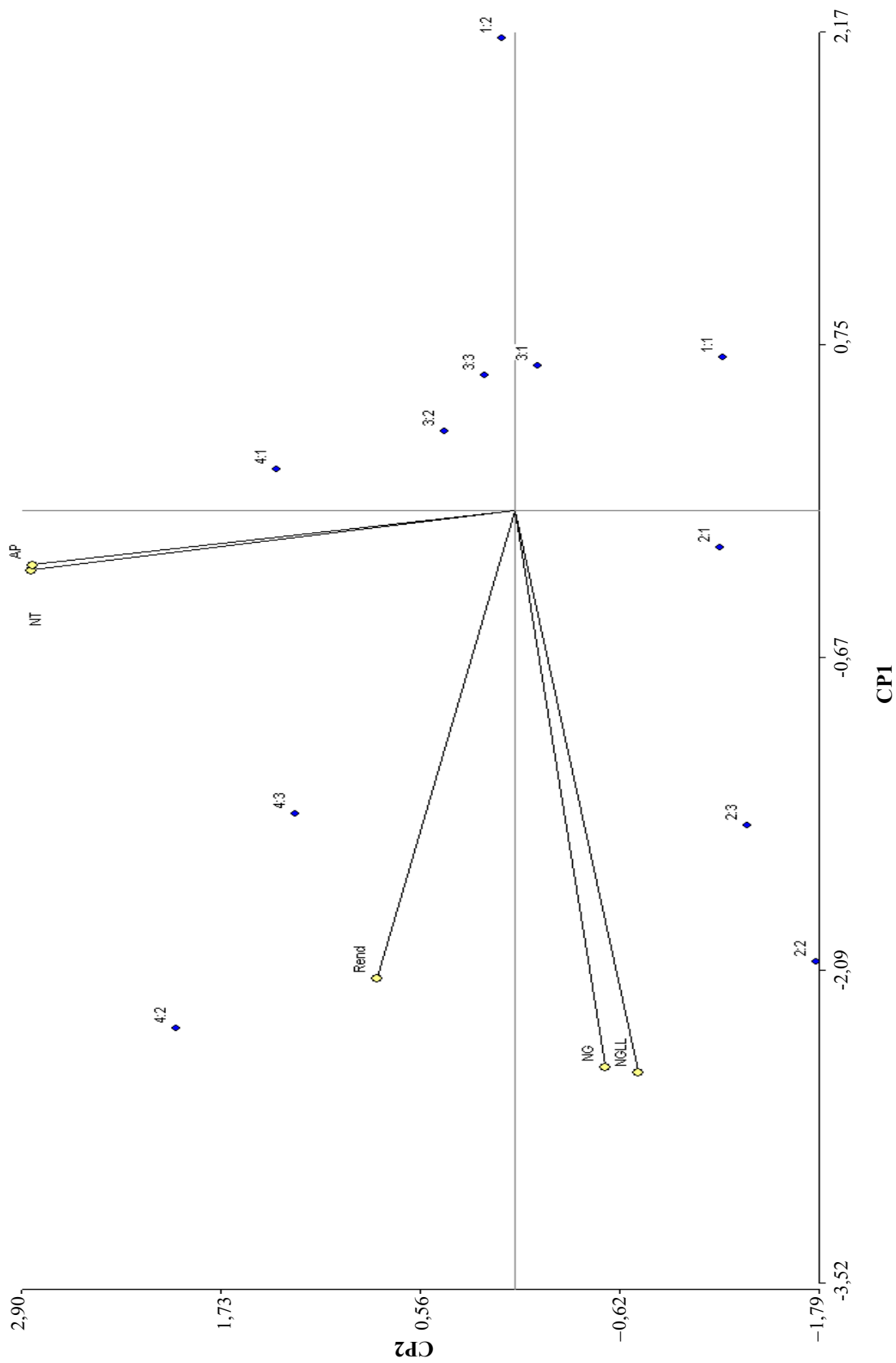


FIGURA 2. Doble representación Biplot del análisis agronómico para la interacción DNxDs utilizando el cultivar CENTAURO, localidad Guárico.

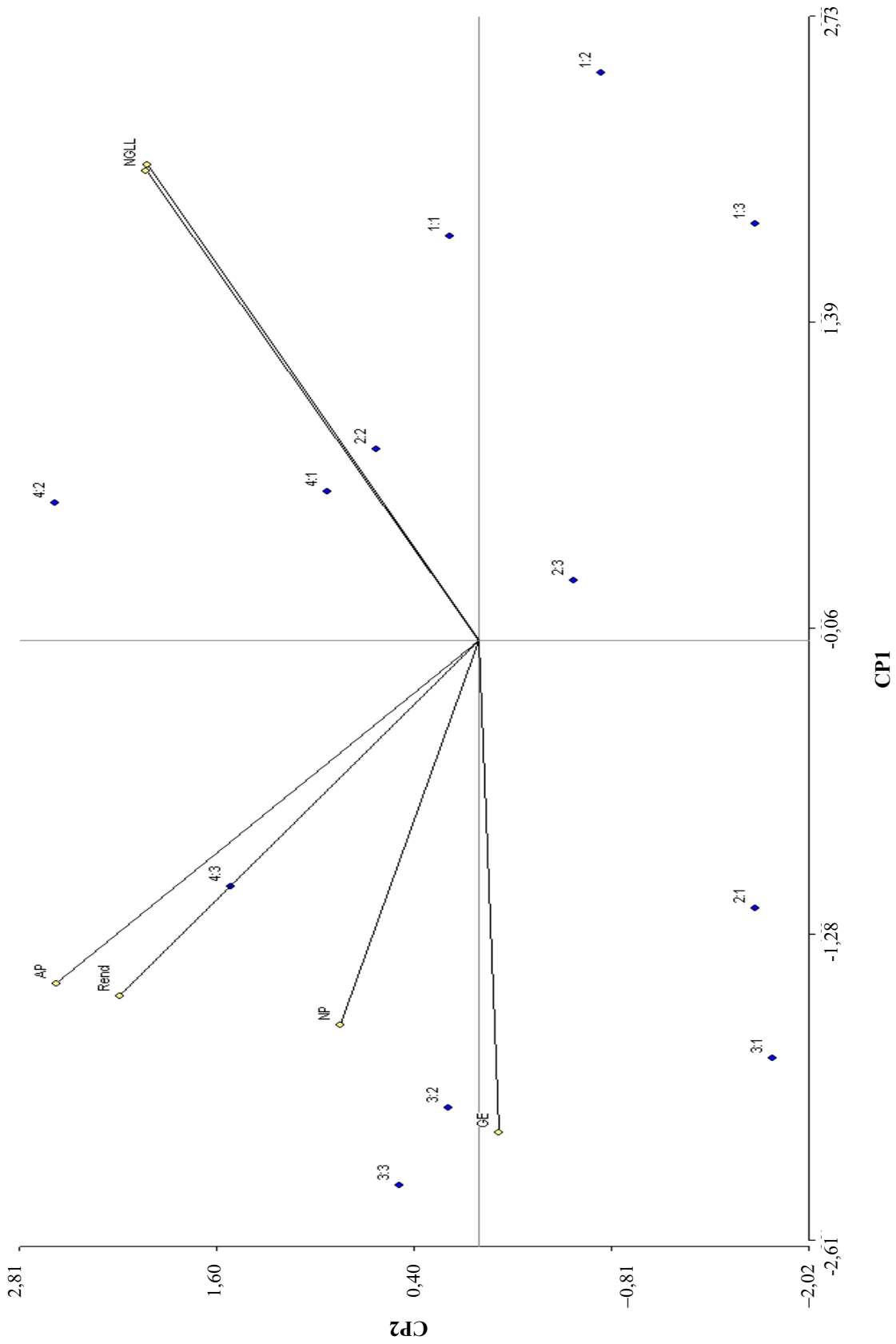


FIGURA 3. Doble representación Biplot del análisis agronómico para la interacción DNxDs, utilizando el cultivar CENTAURO, localidad Barinas.

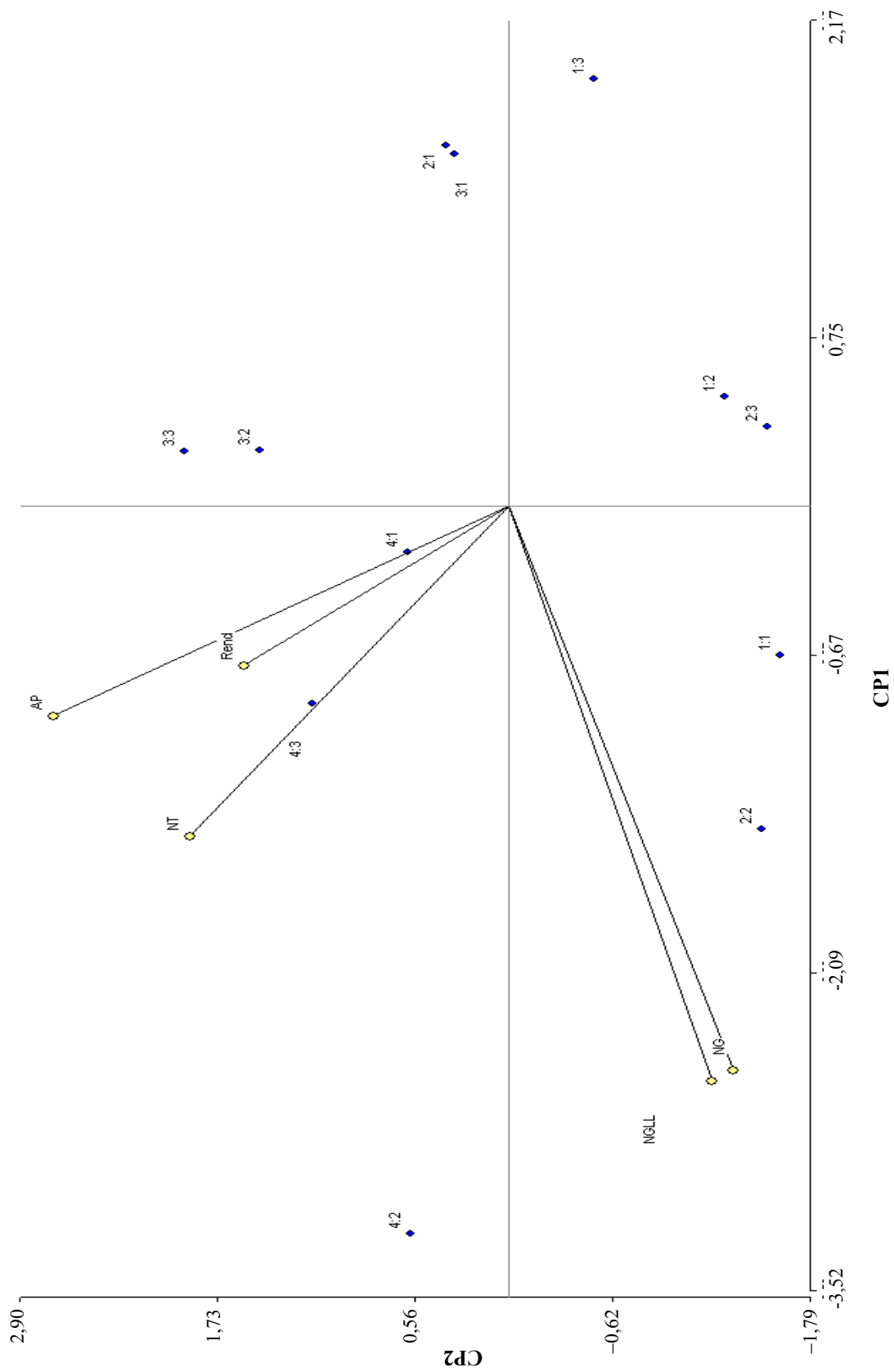


FIGURA 4. Doble representación Biplot del análisis combinado de localidades para la interacción DNxDs, utilizando el cultivar CENTAURO.

En Barinas (Figura 3) se observa que el cultivar responde de manera similar que en Guárico, mostrando mejor desempeño con la DN intermedias a alta, es decir DN₃ y DN₄, respectivamente. Al igual que en Guárico, estas DN contribuyen con un mayor crecimiento vegetativo afectando la AP y el NT. De forma general menores DN afectan negativamente el rendimiento de granos. Ya para el análisis combinado de ambas localidades (Figura 4) el análisis de componentes principales corroboró lo antes dicho. El cultivar CENTAURO muestra mejor desempeño del rendimiento de granos, mayor crecimiento vegetal AP y NT, incluso de NGLL y NG, cuando se utilizan DN intermedias a altas, como respuesta de la planta a los niveles adecuados de N en el suelo, esto hace evidente que entre las variables ambientales más importante la DN es la que cobra mayor importancia para evaluar el desempeño de cultivares de arroz, en virtud de la importancia de este elemento en los procesos fisiológicos (morfogénesis, fotosíntesis, senescencia y crecimiento foliar) como lo reportaron De Datta (1981); Rico *et al.* (1982); Rodríguez *et al.* (2002); (Fageria *et al.* 2003).

Sin embargo, se hace necesario continuar los estudios con el fin de determinar la época y forma de aplicación, así como la eficiencia de asimilación de este nutriente por parte de los nuevos cultivares con alto potencial de productividad.

CONCLUSIONES

- El cultivar CENTAURO demostró alto potencial de rendimiento (kg ha⁻¹) en las principales zonas de producción del país (Guárico, Portuguesa y Barinas).
- Responde favorablemente en rendimiento de granos (kg ha⁻¹) a baja Ds (80 kg ha⁻¹). Igualmente, cuando se utiliza DN mínima 120 kg ha⁻¹ y máxima 160 kg ha⁻¹.
- Se pudo comprobar que el análisis de componentes principales y el empleo de las doble representaciones (Biplot) son de gran utilidad para representar la interacción de ambos factores (DsxDN).

RECOMENDACIÓN

Realizar un manejo de fertilizante nitrogenado específico para cada localidad, en tal sentido, se recomienda para Guárico dosis mínima de 120 y máxima de 200 kg ha⁻¹, Barinas mínimo 120 y máximo 160 kg ha⁻¹ y en Portuguesa dosis media de 120 kg ha⁻¹, aplicada en forma fraccionada antes de los 50 DDG para el

ciclo de riego. Igualmente, se recomienda acompañar esta práctica con nivelación del terreno y el uso de semilla certificada, entre otras.

AGRADECIMIENTO

Por su valiosa colaboración, conducción de los ensayos y recolección de la información al equipo técnico de arroz: Paulo Abreu (Guárico), Reinaldo Méndez, César Barrientos, Yolenny Gómez (Barinas); Neida Ramos, Edith Hernández y Edgar Rodríguez (Portuguesa).

BIBLIOGRAFÍA

- Bernardo, R. 2002. Breeding for quantitative traits in plants. Woodbury: Stemma Press. 147-169 pp.
- Counce, P. 1987. Asymptotic and parabolic yield and linear nutrient content responses to rice population density. *Agronomy Journal*, Madison. 79(5):864-869.
- Cuevas-Pérez, F., L. Berrio, D. González, F. Correa-Victoria and E. Tulande. 1995. Genetic improvement in yield of semidwarf rice cultivars in Colombia. *Crop Science*, Madison, 35(3):725-729.
- David, C. and K. Otsuka. 1994. *Modern Rice Technology and Income Distribution in Asia*. Lynne Rienner Publishers, Colorado. United States of America. 475 p.
- De Datta, S. K. 1981. *Principles and Practices of Rice Production*. International Rice Research Institute (IRRI). Los Baños. Philippines. 618 p.
- De Datta S., E. Craswell, R. Filley, J. Calabio and F. García. 1981. Alternative strategies for increasing nitrogen fertilizer efficiency in wetland rice soil. *Annual International Rice Research Conference*, april 27 de may 1. International Rice Research Intitute (IRRI), Los Baños-Philippines.
- De Datta, S. and F. Broadbent. 1988. Methodology for evaluating nitrogen utilization efficiency by rice genotypes. *Agronomy Journal*, Madison, 80:793-798.
- Fageria, N. K., N. Slaton and V. Baligar. 2003. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. *Advances in Agronomy*. 80:63-152.
- Gindri, S., M. Souza e V. Mussoi. 1996. Curva de resposta à aplicação de nitrogênio para quatro genótipos de arroz irrigado. *Lavoura arrozeira*. 49:3-6.

- Hotelling, H. 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*. 24:417-441.
- Infeld, J. e E. P. Zonta. 1987. Densidade na BR-IRGA 411. **In:** Reunião da cultura do arroz irrigado, 14. Pelotas. Anais. Pelotas: Embrapa-CPATB/UFPEl, 168-172 pp.
- InfoStat, 2002. InfoStat Profesional. Software versión 1.1. estadística. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Kumura, A. 1956. Studies on the effect internal nitrogen concentration of rice plant on the constitutional factors of grain yield. *Japan. Proc. Crop. Sci. Soc.* 24:177-180.
- Martínez, P. 1998. Situación del cultivo del arroz en Venezuela. Fundación Polar, 1er Ed. 39 p.
- Páez, O. 1991. El cultivo de arroz: densidad de siembra, control de malezas y fertilización. FONAIAP Divulga 36:26-28.
- Páez, O. y C. Barrios. 1995. Efecto de la interacción densidad de siembra-lamina de agua sobre el crecimiento, desarrollo y producción de arroz en época de verano. *Rev Fac de Agro.* 12:25-45.
- Páez, O., G. Rico y L. Velásquez. 2004. El Cultivo de Arroz en Venezuela. Nutrición y Fertilización en Arroz. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Maracay, Venezuela. 202 p. (Serie manuales de cultivo INIA N° 1).
- Pedroso, B. 1987. Densidade e espaçamento entre linhas para arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado. *Lavoura Arrozeira, Porto Alegre.* 40(370):6-6.
- Pulver, E. y P. Jennings. 1997. El papel de Fundarroz en la industria arrocería en Venezuela. Mimeografiado. 17 p.
- Ramalho, M. A., J. B. Santos e C. A. Pinto. 2000. Genética na agropecuária Lavra. Lavras: UFLA. 404 p.
- Rieffel, N., S. Ferreira Da Silva, P. Gaedke, P. Menezes e C. Paim Mariot. 2000. Resposta de genótipos de arroz irrigado ao arranjo de plantas. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília.* 35(12):2 383-2 390.
- Rico, G. y S. K. De Datta. 1982. Diferencia varietal del arroz en la utilización del N del suelo, bajo condiciones de riego, usando ¹⁵N. *Agronomía. Trop.* 32(2):171-185.
- Rico, G., D. Pérez, J. Ledezma, J. Parra y H. Agrinzones. 1992. Efectos de diferentes niveles de nitrógeno y fósforo en variedades modernas de arroz bajo condiciones de inundación en suelos pesados. *Agronomía Trop.* 42(1-2):41-52.
- Rodríguez, H., L. Arteaga, R. Cardona, M. Ramón y L. Alemán. 2002. Respuesta de las variedades de arroz "Fonaiap 1" y "Cimarrón" a dos densidades de siembra y dos dosis de nitrógeno. *Bioagro* 14(2):105-112.
- Statistical Analysis System. 2002. SAS Institute Inc. Guide for personal computers. Release 9.1.3. USA.
- Scivittaro, W. e M. Machado 2003. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. **In:** Gomes A., y Magalhães Junior, A. (Org). Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Cap. 9:259-303 pp.
- Silva Da Souza, L., H. Bohnen, E. Marcolin, V. Regina, M. Macedo e E. Pocojeski. 2007. Resposta a doses de nitrogênio e avaliação do estado nutricional do arroz irrigado. *Revista Brasileira Agrociência, Pelotas,* 13(2):189-194.