

APLICACIÓN DE UN FERTILIZANTE ENRIQUECIDO CON SILICIO Y MATERIA ORGÁNICA EN ARROZ (*Oryza sativa* L.) CULTIVADO EN IBAGUÉ Y EL GUAMO (TOLIMA, COLOMBIA)

APPLICATION OF AN ENRICHED FERTILIZER WITH SILICON AND ORGANIC MATTER IN THE YIELD OF RICE (*Oryza sativa* L.) SOWED IN IBAGUÉ AND EL GUAMO (TOLIMA, COLOMBIA)

Javier Giovanni Alvarez Herrera¹; Martha Constanza Daza Torres² y Cristina Mendoza Forero³

Resumen. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis y épocas de aplicación de un suplemento fertilizante enriquecido con silicio, materia orgánica y elementos menores en el cultivo de arroz variedad Fedearroz 50. El diseño experimental fue completamente al azar con factorial de 2 dosis (20 y 40 kg·ha⁻¹) y 5 combinaciones de época y dosis de aplicación (100% Presiembra, 50% Presiembra + 50% 1ª abonada, 100% a la 1ª abonada, 50% Presiembra + 50% 2ª abonada, 100% a la 2ª abonada) comparados contra un testigo comercial (40 kg de SiO₂) y un testigo tradicional de la zona. Las aplicaciones en segunda abonada del fertilizante generaron un incremento en el número de panículas. Se encontró que un mayor número de panículas correlaciona con un menor número de espiguillas llenas y un mayor porcentaje de vaneamiento, aunque este se vió disminuido con aplicaciones tempranas del fertilizante y factores climáticos. En la localidad de El Guamo la dosis de fertilizante más adecuada fue de 20 kg en primer abonada con rendimientos de 6906 kg·ha⁻¹ de arroz paddy, mientras que en Ibagué con 40 kg en segunda abonada se obtuvieron rendimientos de 9270 kg·ha⁻¹. El modelo matemático sugiere que aplicaciones de 66,9 kg·ha⁻¹ del fertilizante para la localidad de Ibagué incrementarían la producción de arroz a 8876 kg·ha⁻¹ en promedio.

Palabras claves: Fertilización, elementos benéficos, paddy, microelementos.

Abstract. The experiment was developed in two localities and its objective was evaluate the effect of different doses and times of application of a suplement fertilizer enriched with organic matter, silicon and microelements in the rice variety Fedearroz 50. The experimental design was completely at random with factorial of 2 doses (20 and 40 kg·ha⁻¹) and 5 combinations of time and doses of application (100 % Preseed, 50 % Preseed + 50 % to Preflood, 100 % preflood, 50 % Preseed + 50 % midseason, 100 % to midseason) compared against a commercial witness (40 kg of SiO₂) and a productive witness. The applications in midseason of fertilizer generated an increase in the number of panicles. It was found that a bigger panicles number correlates with a smaller number of full spikes and a bigger vaining, although this it is minimized with early applications of the fertilizer and climatic factors. In Ibagué, the suitable dose of fertilizer was 40 kg applied in midseason, with yields of 9270 kg·ha⁻¹; whereas, in El Guamo the best result was obtained with 20 kg of fertilizer applied in preflood, with yield of 6906 kg·ha⁻¹. The mathematical model suggests that applications of 66.9 kg·ha⁻¹ of the fertilizer for Ibagué increased the production of rice on the average to 8876 kg·ha⁻¹.

Key words: Fertilization, benefit elements, paddy, micronutrients.

En Colombia, los fertilizantes representan entre 12% y 14% (US\$ 25 por tonelada) de los costos de producción del cultivo de arroz y en los últimos años, las dosis de fertilización se ha incrementado para lograr mejores rendimientos, aspecto que influye en los costos de producción debido a que la mayoría de estos productos son importados (Fedearroz, 2001).

Según Castilla (2000), la aplicación de grandes cantidades de enmiendas orgánicas a base de residuos vegetales, residuos orgánicos de animales, compost, entre otros, se ha incrementado pero su baja eficiencia ha terminado por afectar la rentabilidad del cultivo de arroz, debido a que la

aplicación de enmiendas orgánicas, no es acompañada por una fertilización química adecuada (Alvarez, 2005).

El arroz responde muy bien a las aplicaciones de N (Eagle *et al.*, 2001). González (1992) muestra que existe una influencia positiva del nitrógeno sobre los rendimientos de arroz y que este efecto es mayor cuando se fracciona en dos aplicaciones: 1/2 en la siembra y 1/2 a los 45 días posteriores a la siembra. Tisdale y Nelson (1966) afirmaron que en promedio la materia orgánica presenta un 4% de N, en el caso de la gallinaza, como abono orgánico, Castilla (2002) mostró que aportes de 1 t·ha⁻¹ de materia orgánica

¹ Profesor Asistente. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). A.A. 1094, Tunja. Colombia. <jagial@mail.com>

² Profesora Titular. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. A.A. 25360, Cali. Colombia. <conidaza@hotmail.com>

³ Profesor Tiempo Completo. Universidad de Cundinamarca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 52418, Fusagasugá. Colombia. <cmendozaf@yahoo.com>

Recibido: Mayo 9 de 2008; Aceptado: Noviembre 18 de 2008.

Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín 61(2): 4605-4617.2008.

(MO), incrementaron a $7,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ los rendimientos del cultivo de arroz. Bolívar (1991) no obtuvo resultados significativos de N a nivel foliar en máximo macollamiento al aplicar únicamente MO (gallinaza, $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N); sin embargo, con aplicaciones de mezclas compuestas de MO, y fertilizantes inorgánicos (Urea y Superfosfato Triple) si hubo respuesta. Para P, K y Ca, fue significativa en macollamiento, como también para N y K en estado de floración, debido a la lenta liberación del N de las formas orgánicas.

Castilla (2002) afirma que al incrementar la MO en el suelo de $17,7$ a $30,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ se observó una disminución del pH y un incremento en la concentración de P y S haciéndolos disponibles para la planta; así mismo, con los incrementos de materia orgánica la rentabilidad del cultivo fue más alta, pues la fertilización bajó de 225 a $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ disminuyendo los costos de producción. Del mismo modo Muraoka *et al.* (2001) probaron abonos verdes versus $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N en forma de úrea, encontrando que cantidades de $149 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de crotalaria mostraron los mismos resultados que la fertilización química.

El rendimiento del arroz responde muy bien a la aplicación de fósforo. Slaton *et al.* (2002) encontraron que los mejores rendimientos de arroz paddy se obtuvieron con $44,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 , aplicados en presembrado y primer abonada; estas épocas fueron mejores que segunda abonada y a mitad del periodo vegetativo, siendo esta última la que presentó rendimientos similares a los del testigo, que se dan debido a la baja movilidad del fósforo en el suelo lo que disminuye su disponibilidad para la planta.

Se ha determinado un efecto significativo de las aplicaciones de potasio sobre el rendimiento de arroz y la severidad de la enfermedad "pudrición del tallo", este puede ser aplicado en la forma de sulfato de potasio (50% K_2O y 18% S), preferiblemente en presembrado. Así mismo, Riobueno (2000) encontró que el mejor aprovechamiento del potasio se da cuando éste es fraccionado el mayor número de veces económicamente posible, no obstante, Slaton *et al.* (2000a) afirman que el K debe ser aplicado a la mitad de la temporada del cultivo ($100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para prevenir pérdidas en producción por inadecuada nutrición y menciona que la aplicación

de fertilizantes potásicos en suelos con alto K intercambiable origina costos elevados y no incrementa los rendimientos.

Para el Mg, Dierolf y Yost (2000) encontraron que con una aplicación de $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K y luego de 5 siembras de arroz, fue necesario aplicar $6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Mg para poder sustituir el magnesio evacuado del suelo por el cultivo. Por otra parte, González (1992), encontró la aplicación de S en presembrado separada de la aplicación de N inhibió la asimilación del S, mientras que si son aplicados conjuntamente, el N favorece la absorción de S (González, 1992; Tisdale y Nelson, 1966).

Según Shorrocks (1997) el B debe ser aplicado en presembrado para favorecer su distribución uniforme en el suelo, pero no debe ser aplicado tan temprano en suelos con textura finas para evitar pérdidas, ya que Xu *et al.* (2001) mostraron que el B en suelos aluviales se lixivia rápidamente y acumula por debajo de los 60 cm de profundidad.

Salive y Castilla (1999) encontraron que no hubo respuesta al Cu cuando el contenido de este era superior a $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en el suelo, para contenidos menores y una adición de $2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ se encontró un incremento en los rendimientos de hasta un 14%. También encontraron que contenidos de Zn de $4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en el suelo, incrementan los rendimientos en un 2 %, mientras que contenidos en el suelo de $2-4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, más $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Zn en forma de sulfato y quelato de Zn incrementan el rendimiento en un 16%.

Slaton *et al.* (2000b) mostraron que la fertilización con Zn recomendada para arroz debe incluir $11 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en presembrado, $1-2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Zn aplicado foliarmente y $0,3$ a $0,6 \text{ kg}$ aplicados a la semilla; del mismo modo Funderburg *et al.* (2000) afirman que se obtienen altos rendimientos cuando se aplica entre 1 a $2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Zn quelatado, pero coinciden en que la mejor fuente de Zn es la forma granular aplicada en presembrado o primer abonada.

El Si incrementa la producción de granos (Bejarano y Ordóñez, 1999) y mantiene altas acumulaciones de biomasa seca (Tamai y Ma, 2008), así mismo, se afirma que las aplicaciones de Si sustituyen al fungicida en cuanto a la protección contra pyricularia disminuyendo la aplicación de plaguicidas. Ninguno

de los autores menciona cuál es la época de aplicación óptima tanto de Si como de Cu y/o Zn, es más, para elementos tan importantes como el N, P, K y Mg, es poco lo que se conoce cuando estos se aplican en mezclas con materia orgánica.

Por lo anterior, este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis y épocas de aplicación de un fertilizante enriquecido con materia orgánica en el rendimiento del cultivo de arroz en las localidades de Ibagué y el Guamo en el Tolima, Colombia.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó bajo condiciones de campo abierto en el primer semestre del año 2004 en dos localidades, la **Localidad 1**, situada en la finca Rancho Alegre de la vereda Las Mercedes, municipio de El Guamo, departamento del Tolima, con coordenadas: Norte 4° 11' 22" y Oeste 75° 1' 7", a una altura de 399 msnm, con una temperatura promedio de 28 °C, humedad relativa del 72%, precipitación de 1288 mm año. Radiación solar promedio 2,76 KW h•m⁻²•día⁻¹ obtenida por aproximación mediante el Software de Rodríguez y González (1992), clasificación de Holdridge como bosque seco tropical (bs-T).

Localidad 2, situada en la Hacienda Cauchitos del municipio de Ibagué, departamento del Tolima, con coordenadas: Norte 4° 23' 51" y Oeste 75° 9' 7", a una altura de 979 msnm, con una temperatura promedio de 24,3 °C, humedad relativa 64%–86%, precipitación 1450 mm año. Radiación solar promedio 2,91 KW h•m⁻²•día⁻¹, clasificación de Holdridge como bosque seco tropical (bs-T).

El suelo de las dos localidades presenta un epipedón ócrico que se caracteriza por un color claro en seco, usualmente pardo grisáceo y más oscuro al humedecerlo; su contenido en MO es bajo, y su contenido en Fe es relativamente bajo. El endopedón en la zona del Guamo es cámbico, este horizonte se caracteriza por ser pobre en MO, con una estructura más o menos desarrollada y ausencia de roca en al menos la mitad de su volumen, textura francoarenosa o más fina (contenido de arcilla <8%). El endopedón en la zona de Ibagué es argílico, ya que presenta una acumulación de arcilla originada por procesos de traslocación de materiales finos a través del horizonte Ap.

De acuerdo con los análisis físico-químicos de los suelos estudiados (Tabla 1), se aprecia que en localidad del Guamo el N, el Fe y el B se encuentran deficientes, mientras que en la localidad de Ibagué el boro es el elemento con mayor deficiencia.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas de los suelos en las localidades de Ibagué y El Guamo (Tolima, Colombia)

Propiedades Químicas	Unidades	Ibagué	Interpretación	El Guamo	Interpretación
pH		6,3	Neutro	6,69	Neutro
C.E.	dS•cm ⁻¹	1,04	Medio	0,57	Bajo
C.I.C.	cmol•kg ⁻¹	13,79	Media	11,27	Baja
Carbono	%	0,9	Baja	0,4	Baja
POTASIO	cmol•kg ⁻¹	0,28	Medio	0,29	Medio
CALCIO	cmol•kg ⁻¹	9,1	Alto	8,35	Alto
MAGNESIO	cmol•kg ⁻¹	4,18	Alto	2,45	Medio
FÓSFORO	mg•kg ⁻¹	30	Alto	14	medio
N-NO3	mg•kg ⁻¹	120	Medio	70	Bajo
AZUFRE	mg•kg ⁻¹	57	Alto	33	Alto
COBRE	mg•kg ⁻¹	0,8	Medio	0,9	Medio
ZINC	mg•kg ⁻¹	4,3	Medio	55,1	Excesivo
BORO	mg•kg ⁻¹	0,43	Bajo	0,3	Bajo
SILICIO TOTAL	%	22,10	Alto	19,45	Alto
Silicio Asimilable	mg•kg ⁻¹	103,13	Alto	42,8	Alto
Propiedades Físicas		Ibagué		Guamo	
Textura		Franco-Arcillosa		Franco- Arenosa	
Sat. Humedad	%	50	Alto	50	Alto
Densidad aparente	g•cm ⁻³	1,2		1,35	
Porosidad	%	31 %		33%	
Infiltración básica	mm•h ⁻¹	4,40	Moderada	8,90	Mod. rápida

Para las dos localidades se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2x5, más dos tratamientos testigo, en donde el primer factor correspondió a la dosis aplicada de un suplemento fertilizante (20 y 40 kg) y el segundo factor a la combinación de la proporción de fertilizante con la época de aplicación, para un total de 12 tratamientos con tres repeticiones, correspondiente a 36 unidades experimentales (UE) por cada localidad. Los tratamientos utilizados en las dos localidades se muestran en la Tabla 2.

Las dimensiones de cada unidad experimental (UE) fueron de 6 m de ancho por 5 m de largo, lo que determinó un área de 30 m² por unidad, para un área total del ensayo total de 1080 m² por localidad. En El Guamo se maneja una fertilización base compuesta por la siguiente programación: en presembrado, 50 kg•ha⁻¹ DAP y 20 kg•ha⁻¹ sulfato de zinc; en primer abonada, 50 kg•ha⁻¹ de urea, 50

kg•ha⁻¹ de sulfato de amonio (SAM), 25 kg•ha⁻¹ de KCl, 25 kg•ha⁻¹ de DAP y 20 kg•ha⁻¹ de sulfato de zinc; en segunda abonada, 75 kg•ha⁻¹ de urea, 75 kg•ha⁻¹ de SAM, 50 kg•ha⁻¹ de KCl; y en tercer abonada, 75 kg•ha⁻¹ de Urea, 50 kg•ha⁻¹ de SAM, 25 kg•ha⁻¹ de KCl.

La fertilización base manejada en la zona de Ibagué fue: 200 kg•ha⁻¹ fuente Urea, 50 kg•ha⁻¹ de DAP y 90 kg•ha⁻¹ de KCl, dividida en partes iguales para las 4 etapas de fertilización.

Las dosis de 20 y 40 kg•ha⁻¹ se utilizaron debido a que por tradición aplicar un suplemento fertilizante que contenga Si y elementos menores en más de 40 kg•ha⁻¹ es antieconómico. Las épocas de aplicación se escogieron de acuerdo a los planes normales de fertilización de la zona presembrado, primer abonada (inicio macollamiento 20–25 dde), segunda abonada (inicio primordio floral (45–55 dde).

Tabla 2. Tratamientos utilizados en la nutrición de arroz variedad FEDEARROZ 50 con un fertilizante enriquecido con silicio y materia orgánica en Ibagué y El Guamo (Tolima, Colombia)

Tratamiento	Dosis kg•ha ⁻¹	Época	Descripción
T1	20	E1	100% Presembrado
T2	20	E2	50% Presembrado + 50% 1 ^{er} abonada
T3	20	E3	100% a la 1 ^{er} abonada
T4	20	E4	50% Presembrado + 50% 2 ^{da} abonada
T5	20	E5	100% a la 2 ^{da} abonada
T6	40	E1	100% Presembrado
T7	40	E2	50% Presembrado + 50% 1 ^{er} abonada
T8	40	E3	100% a la 1 ^{er} abonada
T9	40	E4	50% Presembrado + 50% 2 ^{da} abonada
T10	40	E5	100% a la 2 ^{da} abonada
T11	0	E0	Sin suplemento fertilizante (Testigo de la zona)
T12	40	E1	100% Presembrado (Testigo comercial)

La variedad de arroz utilizada fue FEDEARROZ 50, esta presenta un periodo vegetativo de 115 a 130 días, un macollamiento intermedio en sistemas de siembra tradicional, con tallos que presentan alta resistencia al vuelco. El vaneamiento oscila entre un 12% y un 25%. Es resistente a gran cantidad de plagas y enfermedades. No tolera la inundación permanente. Responde bien a las dosis y épocas de fertilización de cada zona. Debe utilizarse entre 180 y 250 kg•ha⁻¹ de semilla, según el tipo de suelo.

El abono utilizado en el experimento es un suplemento fertilizante principalmente de Si y MO, constituido por roca fosfórica, silicato de magnesio, sulfato de zinc y de cobre como aporte mineral y por leguminosas, gramíneas y equinaza como materia orgánica. Este es una mezcla física de las fuentes mencionadas, en donde primero se hace una trituración y luego una solidificación. La aplicación se realizó de forma manual al voleo y su respectiva concentración determinada en laboratorio tal como se presenta en la Tabla 3.

En la localidad del Guamo la siembra se realizó con una sembradora SEMEATO y se manejó una densidad de siembra de $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de semilla. La preparación del suelo se realizó con cuatro pases de rastra, uno de rastrillo y una nivelada y caballones de 0,5 m de altura por 1,2 m de ancho. A los 20 días después de emergido (dde), y luego de haber realizado la aplicación del herbicida Butaclor, el

cultivo tuvo un leve retraso pues a esto se sumó una escasez de lluvias de casi 20 días. En la localidad de Ibagué se realizó la siembra al voleo, con una densidad de siembra de $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de semilla. La preparación del suelo se realizó con dos pases de rastra, uno de rastrillo y luego se hicieron los caballones.

Tabla 3. Composición del fertilizante aplicado y del testigo comercial empleados en la nutrición de arroz variedad FEDEARROZ 50 con un fertilizante enriquecido con silicio y materia orgánica en Ibagué y El Guamo (Tolima, Colombia)

Elemento	Forma Química	Cantidad (%)
Nitrógeno	N	3
Materia Orgánica		15
Magnesio	MgO	6
Zinc:	Zn	10
Fósforo:	P ₂ O ₅	5
Silicio	SiO ₂	12
Azufre:	S	5
Boro:	B	2
Cobre:	Cu	0,5
Testigo comercial (Arrosil)		
Silicio	SiO ₂	46

Las variables de respuesta a evaluar fueron:

Panículas por área (No. de panícula/m²), la cual se determinó tomando al azar el número de panículas de un marco de 0,25 m x 0,25 m.

Espiguillas llenas por panícula (No. de espiguillas / panícula), al azar se tomaron 10 espigas por unidad experimental, a las cuales se les contó el número de espiguillas, espiguillas llenas, y espiguillas vanas.

Vaneamiento, el cual se determinó en porcentaje mediante la división entre el número de espiguillas vanas y el número de espiguilla totales.

La *masa de 1000 granos de arroz* (arroz paddy en g), se tomaron 1000 espiguillas llenas de cada muestra a los cuales se les determinó la masa en una balanza electrónica.

Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de arroz paddy), la cosecha se realizó a los 133 dde en Ibagué y a los 129 dde en El Guamo; se recolectaron manualmente con hoz 4 metros cuadrados por tratamiento al azar dentro de

la UE, posteriormente se determinó la masa de arroz paddy cosechado y se hizo la respectiva conversión a $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Para cada una de las variables medidas se hizo una prueba de homogeneidad de varianzas (Prueba de Bartlett) para conocer si los resultados obtenidos en las dos localidades se podían analizar conjuntamente, o si había que hacerlo por separado. En cada caso se realizó un análisis de varianza (Anava) para cada una de las variables de respuesta al 5% y se tuvo en cuenta no solo el efecto por separado de la localidad, la dosis y la época sino también el de las interacciones (*i.e.* dosis*localidad, dosis*época, localidad*época y dosis*época*localidad).

Luego, se compararon las diferencias mediante el método de diferencias mínimas significativas DMS y la correlación existente entre las diferentes variables utilizando el paquete estadístico SAS v. 8e.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Panículas por área. La prueba de homogeneidad indicó que el análisis de varianza del número de panículas por área se debe hacer por localidad, al realizar este se encontraron para las dos localidades diferencias significativas entre las épocas de aplicación del fertilizante, mientras que las dosis del mismo no presentaron diferencias entre sí, ni las interacciones.

En Ibagué, la época de aplicación de fertilizante que mostró un mayor número de panículas fue la

aplicación distribuida en presiembra y segunda abonada, aunque esta solo presentó diferencias significativas con las aplicaciones realizadas conjuntamente en presiembra y primer abonada. En el Guamo se encontró que el número de panículas tuvo una mayor respuesta cuando la aplicación se hizo distribuida en presiembra y segunda abonada, que corresponden a los tratamientos T4 y T9, esta diferencia fue significativa con respecto a las demás épocas de aplicación, y altamente significativa con respecto a la aplicación del testigo comercial en presiembra (Figura 1).

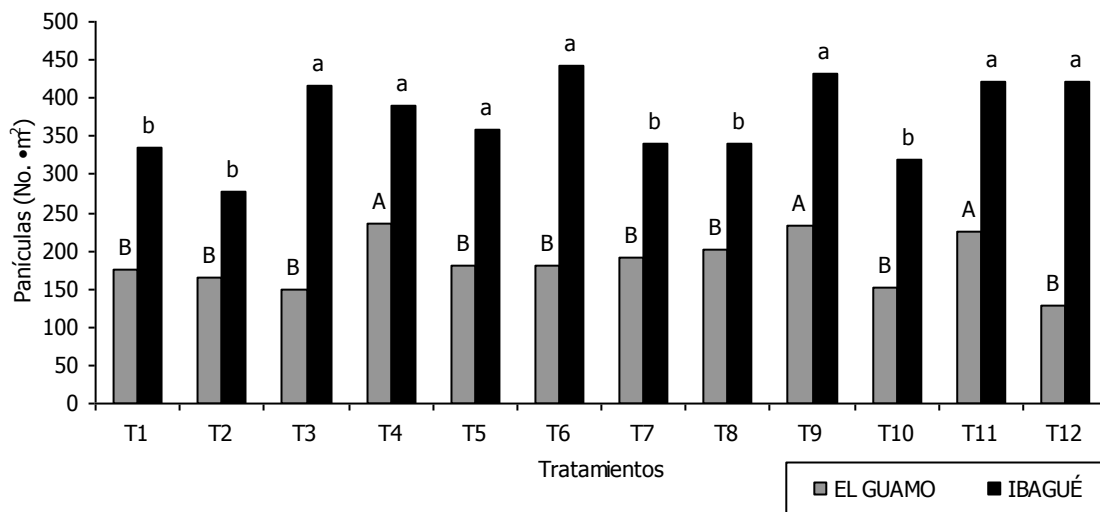


Figura 1. Panículas por área de FEDEARROZ 50 sembrada en dos localidades y sometida a 12 tratamientos combinando épocas y dosis de aplicación del fertilizante. Promedios con letras distintas, mayúsculas para la zona de El Guamo y minúsculas, para Ibagué, son diferentes estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

La época de aplicación de fertilizante más importante para incrementar el número de panículas por m² fue la segunda abonada, ya que al comparar la E4 con la E2 en las dos localidades, estas presentan una aplicación en presiembra; sin embargo, lo que las hace diferentes es que la E4 tiene aplicación en segunda abonada justo al inicio de formación del primordio floral que luego va a generar una panícula, mientras que la época E2, la presenta en primer abonada al inicio del mismo.

En la Figura 1 se observan las diferencias entre localidades, en promedio la localidad de Ibagué presentó un valor de 376 panículas•m⁻², un 100% más frente a las 184 panículas•m⁻² que presentó la

localidad del Guamo, esta situación puede estar originada por la mayor densidad de siembra de la localidad de Ibagué lo que concuerda con Deambrosi *et al.* (2001) quienes encontraron una relación directamente proporcional y significativa entre la densidad de siembra y el número de panículas.

Espiguillas llenas por panícula. Las varianzas fueron similares para esta variable, por lo que el ANAVA se hizo conjuntamente para las dos localidades no presentando diferencias entre tratamientos, lo que concuerda con Rodríguez *et al.* (2002), quienes no encontraron diferencias en dosis de fertilización para el número de granos por panícula. Sin embargo, al analizar por localidad las

espiguillas llenas por panícula tuvieron un comportamiento significativamente diferente.

En la localidad del Guamo se presentó un promedio de 116 espiguillas llenas por panícula, un 17% más de las encontradas en la localidad de Ibagué, siendo estos promedios superiores frente a las 77 espiguillas por panícula encontradas por Bolívar (1991) para arroz riego y similares frente a valores mencionados por Salive (2002), para otras variedades como Fedearroz 2000 y Colombia 21.

En la Figura 2 se observa cómo todos los tratamientos son superiores en la localidad de El Guamo, a excepción del testigo absoluto, el cual es superior en Ibagué, lo que indica que la fertilidad del suelo en esta última localidad es mayor. La disponibilidad de nutrimentos que facilita la aplicación de MO (Castilla, 2002), se correlaciona positivamente con el número de espiguillas llenas por panícula, así como la actividad fotosintética durante los estados de floración y maduración (Fernández *et al.*, 1985).

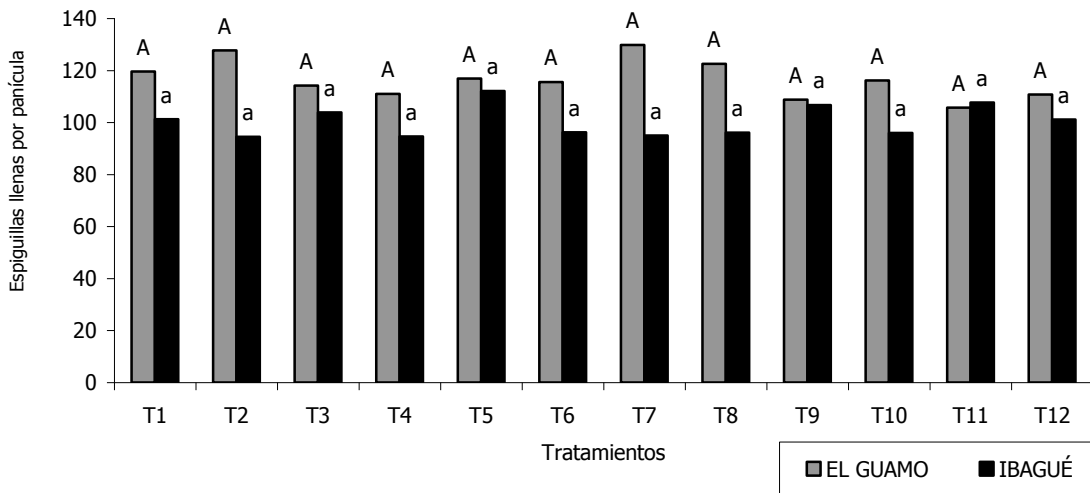


Figura 2. Espiguillas llenas por panícula de la variedad de arroz FEDEARROZ 50 sembrada en dos localidades y sometida a 12 tratamientos combinando épocas y dosis de aplicación del fertilizante. Promedios con letras distintas, mayúsculas para la zona de El Guamo y minúsculas, para Ibagué, son diferentes estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

Se puede decir entonces que en la localidad de Ibagué el número de panículas es más alto que en la localidad del Guamo, sin embargo cada panícula de la localidad del Guamo presenta más espiguillas llenas, es decir existe una relación inversa entre el número de panículas y el número de espiguillas llenas por panícula, lo que concuerda con los estudios realizados por Deambrosi *et al.* (2001), así la esterilidad es mucho mayor en la zona de Ibagué debido a que inicialmente la planta genera más espiguillas de las que en realidad puede alimentar.

Saneamiento. El ANAVA no arrojó diferencias para las interacciones y al analizar por separado cada localidad, éste no mostró diferencias significativas para la localidad de El Guamo, mientras que para la localidad de Ibagué mostró diferencias significativas en la época de aplicación del fertilizante.

Para la localidad de Ibagué, según el método de DMS, las épocas de aplicación de fertilizante que disminuyeron el porcentaje de vaneamiento fueron la E4 y la E6 que corresponden a los tratamientos con aplicaciones en presiembrado y primer abonado (T2, T7 y T12); esto indica que aplicaciones tempranas de MO, elementos menores, tienen gran influencia en la disminución de los granos vanos por panícula debido a que elementos de baja movilidad van a ser asimilados y van a estar disponibles al momento del llenado del grano, del mismo modo el Si determinó un menor vaneamiento, por mayor acumulación de biomasa, acorde a lo encontrado por Kazunori y Ma (2008).

La Figura 3 muestra el vaneamiento debido a los diferentes tratamientos en las dos localidades; se

visualizan diferencias significativas en el comportamiento de la variable, en Ibagué el vaneamiento fue en promedio de 34% mientras que en El Guamo fue de un 12%, esto puede estar originado debido a la diferencia de temperaturas entre el día y la noche (Kikusawa *et al.*, 1998), así como a la temperatura del agua de riego pues en Ibagué ésta es más fría que en El Guamo lo que retrasa la velocidad de los procesos de llenado de grano.

Según Bolívar (1991) existen diferencias entre las épocas de riego, y seco; a mayor riego, el porcentaje de vaneamiento es mucho menor que cuando se cultiva el arroz en seco, ya que el vaneamiento para estas zonas oscila entre un 20% y un 36%, mientras que para arroz riego rara vez superan el 22%; así mismo, la velocidad de los procesos bioquímicos en la planta es mayor cuando la temperatura es cercana a los 30 °C, es decir que una mayor temperatura va a incrementar la tasa fotosintética y el llenado de granos va a ser más eficiente en el Guamo que en Ibagué.

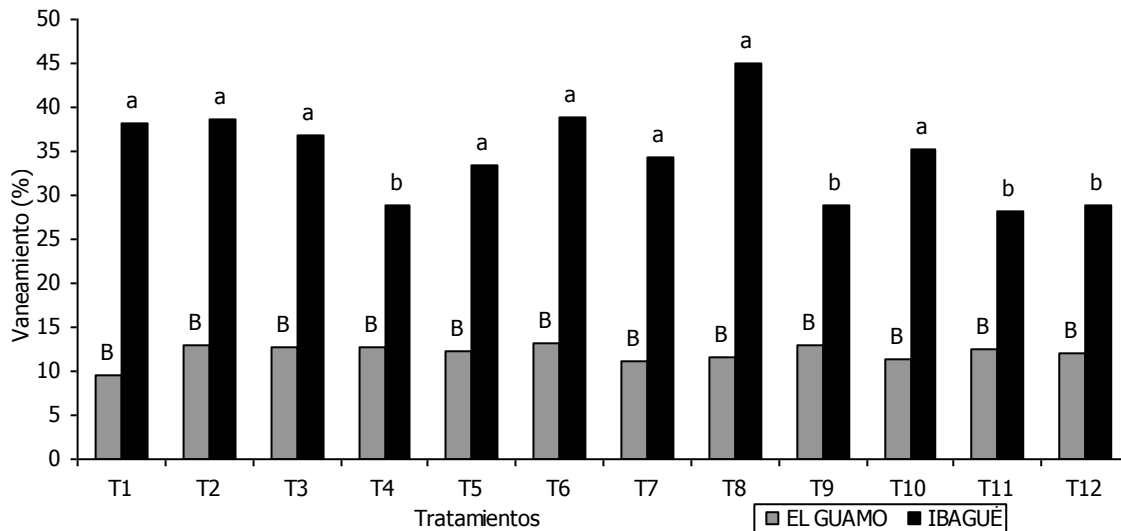


Figura 3. Porcentaje de vaneamiento de FEDEARROZ 50 sembrada en dos localidades y sometida a 12 tratamientos combinando épocas y dosis de aplicación del fertilizante. Promedios con letras distintas, mayúsculas para la zona de El Guamo y minúsculas, para Ibagué, son diferentes estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

Masa de 1000 granos de arroz. La prueba de homogeneidad de varianzas presenta diferencias significativas por localidad aún cuando los promedios no presenten estas diferencias, por lo que al hacer el análisis de varianza para cada localidad por separado, se encontró que no hay diferencias para las dos localidades ni para las interacciones, por lo que se puede decir que el fertilizante no afectó la masa de 1000 granos lo que concuerda con varios autores (Tinarelli, 1989; Rodríguez *et al.*, 2002) quienes afirman que la masa de 1000 granos muy difícilmente responde a tratamientos de fertilización.

En general la masa promedio de 1000 granos (Figura 4) fue muy buena para la localidad de El Guamo (28 °C) con 28,1 g frente a 27,9 g de la localidad de Ibagué (25 °C), un 0,5% más que afianza lo expuesto por Tinarelli (1989) en donde la temperatura es directamente proporcional a la masa de 1000 granos, ya que la velocidad de traslocación de los productos derivados de la fotosíntesis es mayor cuando los valores de temperatura se encuentran próximos a los 30 °C.

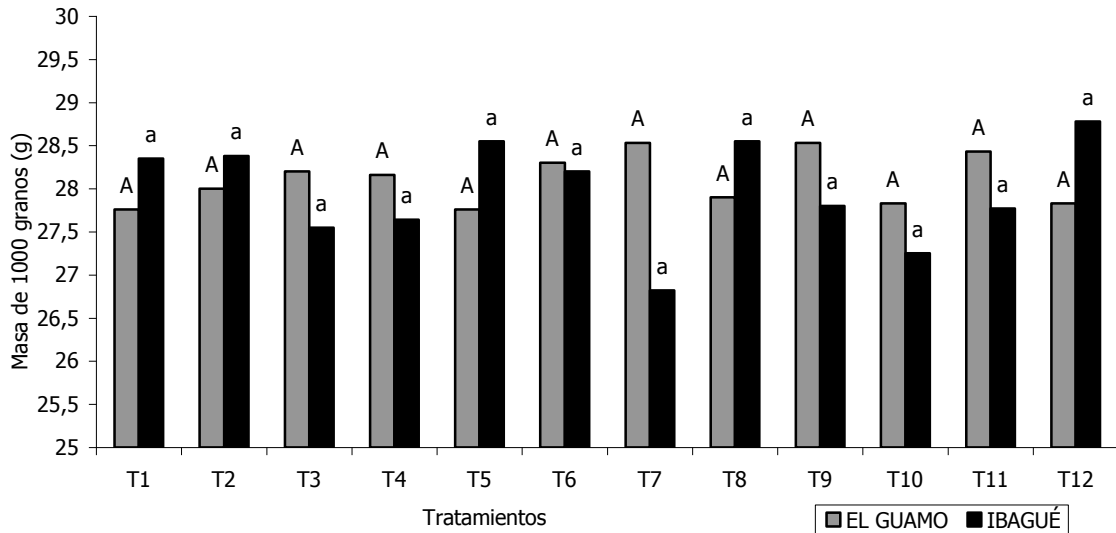


Figura 4. Masa de 1000 granos de FEDEARROZ 50 sembrada en dos localidades y sometida a 12 tratamientos combinando épocas y dosis de aplicación del fertilizante. Promedios con letras distintas, mayúsculas para la zona de El Guamo y minúsculas, para Ibagué, son diferentes estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

Rendimiento. Al hacer el análisis para la interacción dosis por localidad (Figura 5), la mejor respuesta se observa en la localidad de Ibagué para la dosis de 40 kg•ha⁻¹ de fertilizante con un rendimiento de arroz paddy de 8558 kg•ha⁻¹, el cual es significativamente superior que las demás combinaciones. Para la localidad de El Guamo la mejor dosis fue la de 20 kg•ha⁻¹, con un rendimiento de 6107 kg•ha⁻¹ de arroz paddy.

se observa que los mejores resultados los presenta el T10 con rendimientos de 8083 kg•ha⁻¹, 177 kg•ha⁻¹ más que el tratamiento T3, el cuál tuvo el segundo mayor promedio (7906 kg•ha⁻¹), así mismo en comparación con el testigo comercial y el absoluto, el T10, fue superior en un 17% y 31% respectivamente, mientras que el T3 lo fue en un 16% y 32% que representan aproximadamente una diferencia de entre 960 y 1800 kg•ha⁻¹ de arroz paddy.

Los tratamientos analizados conjuntamente tuvieron el comportamiento que muestra la Figura 6, en esta

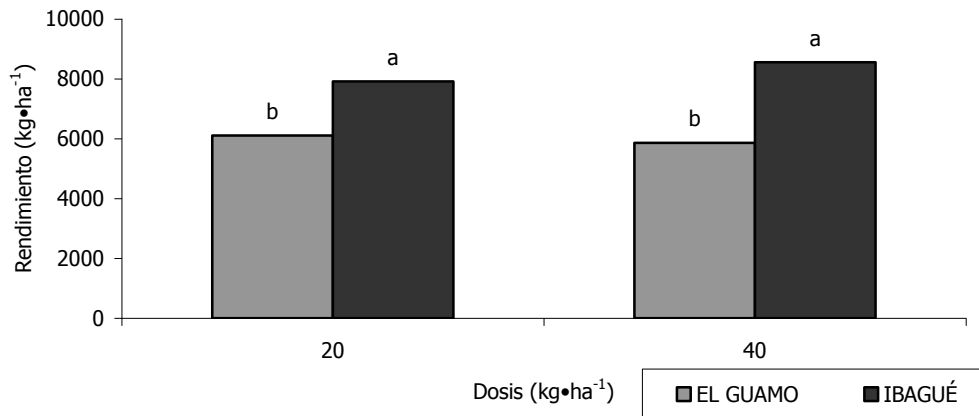


Figura 5. Rendimiento promedio de FEDEARROZ 50 sembrada en dos localidades y sometida a 12 tratamientos combinando dosis y localidad de aplicación del fertilizante. Promedios con letras distintas son diferentes estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

En general el promedio de los tratamientos con aplicación del fertilizante fue de 7154 kg•ha⁻¹ un 19% y 3,5% más que el testigo y el testigo y comercial (Figura 7), lo que hace evidente las bondades de la aplicación de MO y elementos

menores como mezcla fertilizante al incrementar el rendimiento de arroz paddy, así como el aplicar Si por separado, similar a lo encontrado por Kazunori y Ma (2008).

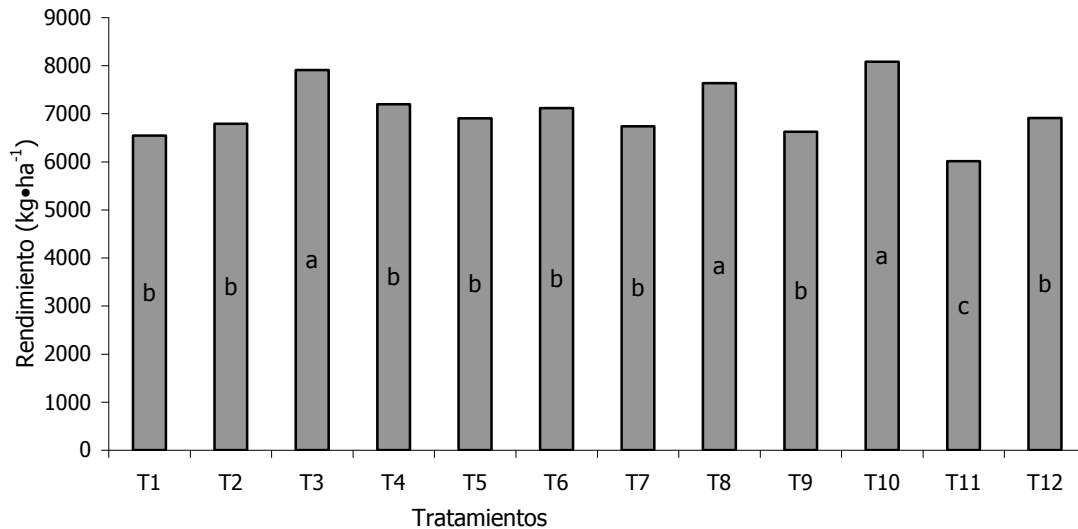


Figura 6. Rendimiento de FEDEARROZ 50 sembrada en dos localidades y sometida a 12 tratamientos combinando épocas y dosis de aplicación del fertilizante. Promedios con letras distintas son diferentes estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

En la Figura 8 se observa cómo varía la dosis de aplicación en función del rendimiento para las dos localidades; en la localidad de Ibagué la tendencia es que a mayor cantidad de fertilizante mayor rendimiento, mientras que en El Guamo el presente estudio presenta un nivel máximo entre 0 y 20 kg•ha⁻¹.

rendimiento para una determinada dosis, mediante la metodología de máximos y mínimos, en la localidad de El Guamo la dosis óptima a aplicar según el modelo es de 15,6 kg•ha⁻¹, presentándose un rendimiento máximo de 6115 kg•ha⁻¹, mientras que para la localidad de Ibagué la dosis óptima es de 66,9 kg•ha⁻¹, para un rendimiento de 8876,8 kg•ha⁻¹ de arroz paddy, así mismo en la localidad de Ibagué es donde se generan las mayores extracciones de nutrientes (N, P, K, Mg, S, B y Zn).

Para cada localidad el modelo es de tipo polinomial, por lo que se puede hallar el punto máximo de

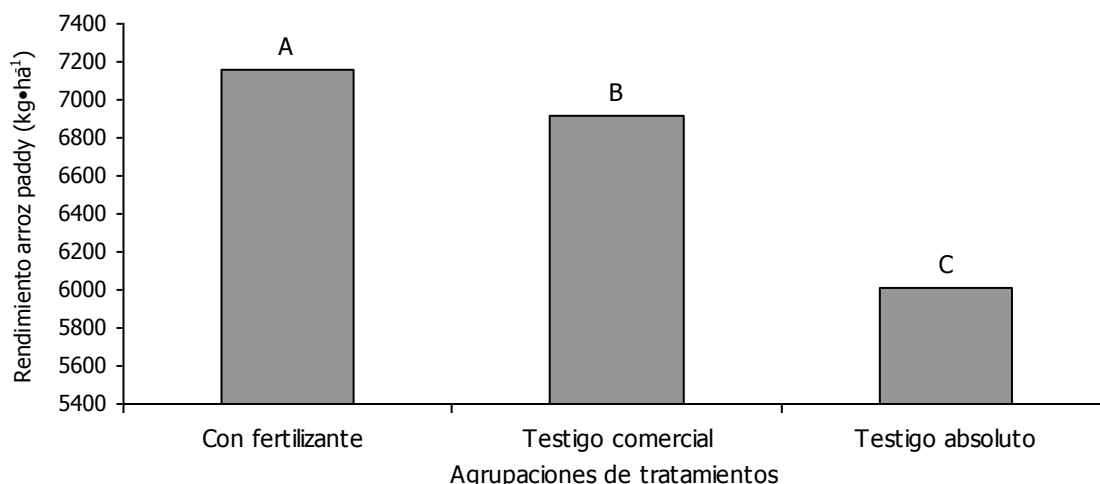


Figura 7. Comparación promedio entre tratamientos de la variedad de arroz FEDEARROZ 50, sembrada Ibagué y El Guamo (Tolima, Colombia) y sometida a 12 tratamientos combinando épocas y dosis de aplicación del fertilizante. Promedios con letras distintas son diferentes estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

El promedio para la localidad de Ibagué fue de 8187 kg·ha⁻¹, frente a 5854 kg·ha⁻¹ de la localidad del Guamo, esta diferencia en rendimientos según el DMS por localidad presenta significancia, lo que

implica que la variedad empleada con una fertilización adecuada desarrolla todo su potencial en la zona de Ibagué, por sus mayores contenidos de MO y fertilidad potencial (Tabla 1).

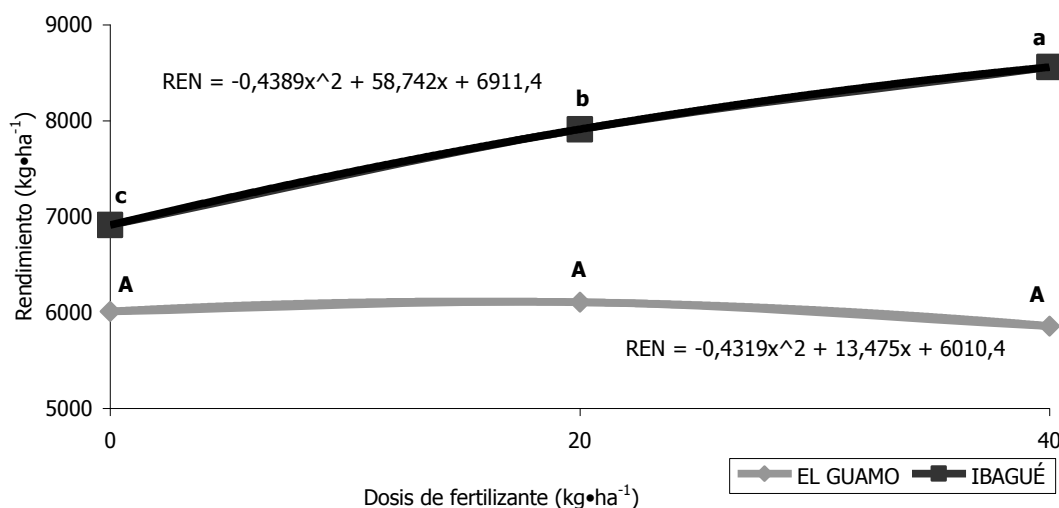


Figura 8. Rendimiento de FEDEARROZ 50 en función de diferentes dosis del suplemento fertilizante sembrada en dos localidades y sometida a 12 tratamientos combinando épocas y dosis de aplicación del fertilizante. Promedios con letras distintas son diferentes estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%.

La diferencia en rendimientos entre las dos localidades también puede estar afectada por factores ya mencionados como temperatura, fertilidad natural del suelo, altura de la lámina de

agua (Salive, 2002), mayor producción de tallos, mayor número de panículas, altura de la planta, entre otros.

CONCLUSIONES

Aplicaciones en segunda abonada del suplemento fertilizante generaron un incremento en el número de panículas.

Se encontró que un mayor número de panículas correlaciona con un menor número de espiguillas llenas y un mayor porcentaje de vaneamiento, aunque éste se ve disminuido con aplicaciones tempranas del fertilizante y factores climáticos.

El mayor rendimiento de arroz paddy se presenta en la localidad de Ibagué con una aplicación de 40 kg•ha⁻¹ de fertilizante en segunda abonada, mientras que en la localidad de El Guamo el mayor rendimiento ocurre cuando se aplicaron 20 kg•ha⁻¹ en primer abonada.

El modelo matemático sugiere la aplicación de 66.9 kg•ha⁻¹ de fertilizante en la localidad de Ibagué para maximizar la productividad, mientras que en el Guamo no se debe realizar aplicación.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, J. 2005. Respuesta del arroz (*Oryza sativa* L.) variedad Fedearroz 50 a diferentes dosis y épocas de aplicación de un fertilizante enriquecido con materia orgánica bajo las condiciones agroecológicas de la meseta de Ibagué y el Guamo en el Tolima. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 73 h.

Bejarano, M. y R. Ordóñez. 1999. Respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de sílice en los Llanos orientales. Revista Arroz. 48(419): 20–30

Bolívar, F.M. 1991. Respuesta del arroz a la fertilización nitrogenada orgánica y mineral bajo dos sistemas de producción en el departamento del Meta. Trabajo de grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 120 h.

Castilla, L.A. 2002. Manejo sostenible del suelo para la producción de arroz. pp. 35–78. En: FEDEARROZ. Manejo integrado del cultivo de arroz en Colombia, Ibagué.

Castilla L.A. 2000. Factores que afectan la eficiencia de la fertilización en el cultivo del arroz. Fundamentos técnicos de los fertilizantes y la fertilización en el cultivo del arroz. Ibagué.

Deambrosi, E., R. Méndez y S. Ávila. 2001. Respuestas de INIA Zapata a densidades de siembra y a aplicaciones de nitrógeno. INIA 33: 11-13.

Dierolf, T. and R. Yost. 2000. Stover and potassium management in an upland rice-soybean rotation on an Indonesian ultisol. Agron. J. 92: 106–114.

Eagle, A., J. Bird, J. Hill, W. Horwath and C. Kessel. 2001. Nitrogen dynamics and fertilizer use efficiency in rice following straw incorporation and winter flooding. Agron. J. 93:1346–1354.

FEDEARROZ. 2001. Arroz en Colombia 1980–2001. FEDEARROZ, Bogotá. 183 p.

Fernández, F., B.S. Vergara, N. Yapit y O. García. 1985. Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. pp. 83–103. En: Tascón E. y E. García (ed.). Arroz: Investigación y Producción. PNUD-CIAT, Cali. 696 p.

González, H. 1992. Efecto de N y S en producción y calidad de arroz *Oryza sativa*. Trabajo de grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Funderburg, E., J. Saichuk and P. Bollich. 2000. Fertilization of Louisiana Rice. Louisiana State University Agricultural Center 2000 (1): 2148.

Kazunori, T. and J.F. Ma. 2008. Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. Plant and Soil 307: 21–27.

Kikusawa, M., K. Inoue and K. Yuasa. 1998. Soil temperature and daylength effects on developmental stage of rice crop. Agricultural Information Technology in Asia and Oceania 167-172.

- Muraoka, T., J. Ambrosano, F. Zapata, N. Bortoletto, A. Martins, P. Trivelin, A. Boaretto y W. Scivittaro. 2001. Eficiencia de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea, aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. *Terra Latinoamericana* 20(001): 17–23.
- Riobueno, C. 2000. Respuestas del arroz a la aplicación fraccionada de potasio. *Revista Arroz* 49(427): 45.
- Rodríguez, H y F. González. 1992. *Manual de Radiación Solar en Colombia*. Rodríguez y González Editores. Bogotá. 2 p.
- 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.
- Salive, A. 2002. Mejoramiento de manejo del riego en arroz y fenología de las nuevas variedades Fedearroz 2000 y Colombia 21, bajo condiciones de la zona de Lérica Tolima en el primer semestre de 2000. pp. 89–98. En: *Manejo integrado del cultivo de Arroz en Colombia*. FEDEARROZ. Ibagué.
- Salive, A. y L.A. Castilla. 1999. Respuesta del arroz a la fertilización edáfica con zinc, cobre y boro en suelos con alto contenido de calcio. pp. 74–77. *Tecnología para el arroz en los 90*. Fedearroz, Bogotá.
- Slaton, N.A., R.J. Norman, D.L. Boothe, S. Ntamatungiro, S.D. Clark, C.E. Wilson and R.E. DeLong. 2000a. Potassium nutrition of rice: summary of 2000 research studies. pp. 395–405. En: *Rice Research Studies Series 2000*, Arkansas.
- Slaton, N.A., C.E. Wilson, Ntamatungiro S., D.L. Boothe, S.D. Clark and R.J. Norman. 2000b. Effect of zinc fertilizer application time on rice yield. pp. 405–412. En: *Rice Research Studies Series 2000*. Arkansas.
- Slaton, N.A., C.E. Wilson, R.J. Norman, S. Ntamatungiro and D.L. Frizzell. 2002. Rice response to phosphorus fertilizer application rate and timing on alkaline soils in Arkansas. *Agron. J.* 94: 1393–1399.
- Shorrocks, V.M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil* 193: 121–148.
- Tamai, K. y Ma, J.F. 2008. Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. *Plant and Soil* 307: 21-27
- Tinarelli, A. 1989. *El Arroz*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 576 p.
- Tisdale, S. and W. Nelson. 1966. *Soil Fertility and Fertilizers*. Segunda edición. The MacMillan Company. New York. 752 p.
- Xu, J.M., K. Wang, R.W. Bell, Y.A. Yang, and L.B. Huang. 2001. Soil boron fractions and their relationship to soil properties. *Soil Science Society of American Journal* 65: 133–138.