

COMPARACIÓN AGROECONÓMICA DE LA FERTILIZACIÓN CON AMONIACO ANHIDRO Y UREA EN ARROZ DE TEMPORAL*

AGRO-ECONOMIC COMPARISON OF THE FERTILIZATION WITH ANHYDROUS AMMONIUM AND UREA IN RAINFED RICE

Oscar Hugo Tosquy Valle^{1§}, Andrés Vásquez Hernández¹, Valentín Alberto Esqueda Esquivel¹, Sergio Miguel Jácome Maldonado¹ y Ana Bertha Vargas García¹

¹Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP. km 34 carretera Veracruz-Córdoba, municipio Medellín de Bravo, Veracruz. Apartado Postal 429, 91700, Veracruz, Veracruz, México. [§]Autor para correspondencia: tosquy.oscar@inifap.gobmx

RESUMEN

Durante el ciclo primavera-verano 2001, se estableció un experimento en Medellín de Bravo, Veracruz, con el objetivo de determinar el efecto agro-económico de dos fuentes de nitrógeno en el rendimiento de grano y la rentabilidad del arroz cv. Milagro Filipino, bajo condiciones de temporal. El diseño experimental fue bloques al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron: 1) 0-0-0 (testigo), 2) 92-46-0, con urea como fuente de nitrógeno y fósforo como superfosfato de calcio triple, 3) 138-69-60; con las mismas fuentes de nitrógeno y fósforo y adición de potasio como cloruro de potasio, 4) 92-46-0, con amoniaco anhidro y superfosfato de calcio triple, y 5) 138-69-60, con amoniaco anhidro, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio. Se determinó la producción de materia seca, componentes de rendimiento y rendimiento de arroz palay. La fertilización con amoniaco anhidro favoreció el crecimiento inicial de las plantas, que en la etapa de amacollamiento produjeron 65.4% más tallos e iniciaron floración 6.8 días antes que las fertilizadas con urea. Aunque ambas fuentes de nitrógeno mostraron rendimientos similares, la dosis de 92 kg ha⁻¹ de nitrógeno como amoniaco anhidro y 46 kg ha⁻¹ de fósforo mostró el más alto beneficio neto, mayor relación beneficio-costos con 2.01 y tasa de retorno marginal de 320.81%. Esta fuente y dosis de nitrógeno puede soportar un incremento de 40% en el costo de producción, sin aumento en el precio de

venta del grano y mantener una alta tasa de retorno marginal de 200.58%. No se observó respuesta a la aplicación de dosis más altas que las recomendadas de nitrógeno y fósforo y a la fertilización con potasio.

Palabras clave: *Oryza sativa*, análisis económico, fuentes de nitrógeno, rendimiento.

ABSTRACT

During the 2001 spring-summer cycle, an experiment was established at Medellín de Bravo, Veracruz, Mexico, in order to determine the agro-economic effect of two nitrogen sources on grain yield and profitability of rainfed rice, cv. Milagro Filipino. A randomized complete block design with three replications was utilized. Five treatments were evaluated: 1) 0-0-0 as check, 2) 92-46-0, with urea as nitrogen source and triple calcium super phosphate as phosphorus source, 3) 138-69-60, using the same nitrogen and phosphorus sources plus potassium by means of potassium chloride, 4) 92-46-0, using anhydrous ammonium as nitrogen source and triple calcium super phosphate as phosphorus source, and 5) 138-69-60, with anhydrous ammonium, triple calcium super phosphate and potassium chloride. Dry matter production, yield

* Recibido: Mayo de 2007
Aceptado: Mayo de 2008

components and grain yield were determined. The fertilization with anhydrous ammonium favored initial plant growth that produced 65.4% more tillers at the onset of the tillering stage and start flowering 6.8 days before that those plants fertilized with urea. Although both nitrogen sources show similar grain yield, the application of 92 kg ha⁻¹ of nitrogen as anhydrous ammonium and 46 kg ha⁻¹ of phosphorus, showed the highest net utility, the best profit-cost relationship with 2.01 and a marginal rate of return of 320.81%. This source and dose of nitrogen can withstand a 40% increment in the production costs without a rise in the sale price of the rice grain and still maintain a high marginal return rate of 200.58%. There was no response neither to the application of nitrogen and phosphorus at rates higher than recommended and to potassium fertilization.

Key words: *Oryza sativa*, economic analysis, nitrogen sources, yield.

INTRODUCCIÓN

En México, el arroz ocupa el cuarto lugar en la producción de granos básicos, después del maíz, trigo y frijol (SAGARPA, 2008). En México el consumo aparente es de 5.15 kg *per cápita* (COMEARROZ, 2005), que aporta alrededor de 15% del promedio nacional de calorías ingeridas (Becerra y Tosquy, 2001). Desde mediados de los años 90's, la superficie y producción de arroz se ha reducido significativamente, tanto por el incremento en el costo de producción, como por la reducción progresiva en las fracciones arancelarias convenidas en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, que ocasionaron el aumento constante en el volumen de las importaciones de este grano (Hernández y Tavitas, 2005).

En 1985, en México se cultivaron 216 466 ha con arroz que produjeron 807 529 t de grano, con las que prácticamente se cubría la demanda interna (SAGAR, 1999). Sin embargo, en 1997 la superficie y producción disminuyeron en 47.6 y 41.9%, respectivamente y para 2007, las reducciones fueron de 67.8 y 65.4% (SAGARPA, 2008). En ese último año, en el estado de Veracruz, se sembraron 11 985 ha con arroz, en las que se produjeron 55 359 t de grano; 84.6% de la superficie, correspondió a siembras de temporal (SAGARPA, 2008).

En las siembras de arroz de temporal en Veracruz, se fertiliza con la dosis 92-46-0 (Ayón y Esqueda, 1992). El fertilizante nitrogenado más utilizado es la urea (46%), el cual se aplica en dos partes iguales: al inicio del amacollamiento, para aumentar el número de tallos y al inicio de la formación del primordio panicular, para obtener panículas con más granos (Osuna *et al.*, 2000). El fósforo se suministra como superfosfato de calcio triple (46% P₂O₅) y se aplica al momento de la siembra, para favorecer la formación de raíces (García, 2005). Aunque la mayoría de los suelos del área de temporal del centro de Veracruz presentan niveles bajos de potasio, su empleo no está generalizado; sin embargo, es importante, ya que favorece al cultivo cuando se presenta sequía o exceso de humedad (Singh y Singh, 1988).

Aunque la fertilización determina en gran medida el rendimiento de arroz, este insumo representa aproximadamente 27% del costo de producción. Una opción para reducir el costo de esta práctica y hacer más rentable este cultivo, es mediante el uso de amoniaco anhidro como fertilizante nitrogenado, ya que es de menor costo que la urea (Cortés *et al.*, 2005).

El amoniaco anhidro es un gas que se almacena bajo presión en forma líquida; tiene la mayor concentración de nitrógeno (82%) entre los fertilizantes nitrogenados, por lo que se requiere menor cantidad para aplicar la misma dosis y requiere menor uso de mano de obra que otros fertilizantes (Potash & Phosphate Institute, 1988). El amoniaco anhidro, una vez aplicado se fija rápidamente como ión amonio en el complejo de intercambio del suelo, lo que ayuda a reducir la pérdida por lixiviación (Rodríguez, 1992). El efecto residual, permite que el cultivo lo asimile de acuerdo a sus necesidades, lo cual representa una ventaja con respecto a los fertilizantes sólidos, cuya aplicación no siempre puede realizarse en el momento más apropiado (Cortés *et al.*, 2005). Aunque el amoniaco anhidro tiene el mayor índice de acidez entre los fertilizantes nitrogenados, el efecto acidificante en el suelo por kilogramo de nitrógeno aplicado es similar al de la urea, por lo que no representa un riesgo adicional para el desarrollo del cultivo de arroz (Guerrero, 1990).

En el noroeste de México, el amoniaco anhidro se utiliza en diversos cultivos; se aplica en inyección directa al suelo o disuelto en el agua de riego (Cortés *et al.*, 2005). En el estado de Veracruz, el amoniaco anhidro se aplica a los cultivos como: caña de azúcar, sorgo y maíz. En

rendimiento de maíz de temporal, fertilizado con 138 kg ha⁻¹ de nitrógeno con amoníaco anhidro en una dosis aplicada en presiembra, fue similar al obtenido con la misma dosis aplicada en forma fraccionada a los 10 y 45 días después de emergencia y fue superior al alcanzado cuando se aplicó la misma dosis con urea, también en forma fraccionada; el costo de la fertilización con amoníaco anhidro fue 30% menor que con urea (Vásquez *et al.*, 2001).

La mayor parte de los suelos en los que se produce arroz de temporal en Veracruz, tienen características que permiten la aplicación eficiente de amoníaco anhidro. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de dos fuentes de nitrógeno sobre el rendimiento de grano y la rentabilidad del cultivo de arroz de temporal, así como determinar la respuesta de este cultivo a una dosis de nitrógeno y fósforo más altas que las recomendadas y a la adición de potasio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante el ciclo primavera-verano 2001, en el Campo Experimental Cotaxtla (CECOT) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, a 15 msnm. El clima es cálido subhúmedo Aw(w)(g), de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1987). La temperatura media anual es de 25.4 °C y la precipitación media anual es de 1 400 mm.

El suelo es de origen aluvial y de acuerdo a la interpretación agronómica de López (1998), la textura es franca (43.2% de arena, 39.0% de limo y 17.8% de arcilla), el pH es ligeramente ácido (6.3); es medianamente rico en materia orgánica (2.41%), con contenido medio de nitrógeno total (0.121%), alto en fósforo aprovechable (44.9 ppm) y alto en potasio intercambiable (300 ppm).

El diseño estadístico utilizado fue bloques al azar con tres repeticiones. La parcela experimental constó de 24 surcos de 10 m de longitud, espaciados a 0.30 m y como parcela útil se tomaron los cuatro surcos centrales. Los tratamientos evaluados fueron: 1) sin fertilización (testigo absoluto), 2) dosis 92-46-0 aplicado con urea (CO(NO₂)) y superfosfato de calcio triple (P₂O₅), 3) dosis 138-69-60

con los fertilizantes antes mencionados, más cloruro de potasio (KCl), 4) dosis 92-46-0 con amoníaco anhidro (NH₃) inyectado en el suelo en presiembra y superfosfato de calcio triple, y 5) dosis 138-69-60, con amoníaco anhidro, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio.

La preparación del terreno consistió en: barbecho a 0.30 m de profundidad, dos pasos de rastra y surcado. El 5 de junio, con humedad de laboreo, se aplicó al voleo todo el fertilizante fosforado de los tratamientos 2, 3, 4 y 5 y se inyectó la dosis total de nitrógeno en forma de amoníaco anhidro a 15 cm de profundidad en las parcelas correspondientes a los tratamientos 4 y 5, de acuerdo con lo recomendado por Potash & Phosphate Institute (1988) y Cortés *et al.* (2005). Posteriormente se sembró la variedad Milagro Filipino, de uso generalizado en el estado de Veracruz (Tosquy *et al.*, 2005), a densidad equivalente a 100 kg ha⁻¹. La adición de urea y de cloruro de potasio se realizó al voleo, fraccionado en dos partes iguales; a los 35 y 65 días después de la emergencia (DDE). La maleza y las plagas se controlaron de acuerdo a las recomendaciones para la producción de arroz en la región del INIFAP (García, 2005).

El efecto de los tratamientos se determinó a través de las siguientes variables: 1) altura de planta al inicio del amacollamiento (AP_i); a los 35 DDE, se midió la altura de cinco plantas seleccionadas al azar en cada parcela útil y se obtuvo el promedio, 2) altura de planta a madurez fisiológica (AP_m); se midió a los 120 DDE, desde la superficie del suelo hasta el nudo en el que se inserta la panícula y se obtuvo el promedio, 3) número de tallos al inicio del amacollamiento (NT_i); a los 35 DDE, en cada parcela útil se cuantificaron los tallos producidos en un metro lineal, 4) número de tallos en la etapa previa a la emisión de la panícula (embuche) (NT_e); a los 75 DDE, se contabilizaron los tallos producidos en un metro lineal en cada parcela experimental, 5) días a floración media (FI); en cada unidad experimental se determinaron los días desde la siembra, hasta la emergencia de 50% de las panículas, 6) producción de materia seca al inicio del amacollamiento (MS_i); en la orilla de cada parcela se colectaron plantas a lo largo de un metro lineal, se secaron a 69 °C durante 24 h y se obtuvo el peso, el cual se transformó a kg ha⁻¹, 7) producción de materia seca en embuche (MS_e); se obtuvo de la misma forma que la variable anterior, 8) número de panículas (NP);

durante la etapa de madurez fisiológica, en cada parcela se contabilizaron las panículas producidas en un metro lineal, 9) longitud de panículas (LP); se midió la longitud de 10 panículas seleccionadas al azar y se obtuvo el promedio, y 10) rendimiento de grano (RG); la cosecha se realizó el 22 de octubre, 138 días después de la siembra; el grano de cada parcela útil se limpió, se pesó y determinó su contenido de humedad, el cual se ajustó al 14%; posteriormente el peso de grano se transformó a kg ha^{-1} . Para todas las variables se realizaron análisis de varianza y en los casos en que se detectó efecto significativo se aplicó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error; también se realizaron los contrastes ortogonales C1: testigo absoluto (TA) vs fertilización (F); C2: tratamientos que contienen urea (U) vs amoníaco anhidro (A) y C3: tratamientos con 92-46-00 (dosis baja, DB) vs 138-69-60 (dosis alta, DA) (Gomez y Gomez, 1984). Para determinar la rentabilidad de los tratamientos se realizó un análisis económico de dominancia y se calculó la tasa de retorno marginal, mediante la división del incremento marginal en beneficio neto entre el incremento marginal en costo variable, la cual se expresó en porcentaje (CIMMYT, 1988).

En estos análisis se consideraron los costos directos de producción del arroz de temporal para 2008, fijados por el Consejo Distrital de Desarrollo Rural Sustentable del Distrito de Desarrollo Rural 008 (DDR 008) de Ciudad Alemán, Veracruz, y precio de venta del kilogramo de arroz palay de \$3.50 kg, estimado por la Unión de Productores de Arroz del estado de Veracruz, A. C. C. N. C. Con el rendimiento y costo de producción de mejor tratamiento y el testigo sin fertilización se realizó el análisis de sensibilidad, para el incremento en el costo de producción; se consideraron dos escenarios: en el primero se contempló un incremento de 40% en el costo de producción con respecto al costo de 2008 y un precio de venta de \$5.00 kg palay y en el segundo se consideró el mismo porcentaje de incremento en el costo de producción, pero el precio del arroz se mantuvo en \$3.50 kg.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencia significativa entre tratamientos en todas las variables, excepto en el número de tallos producidos en la etapa de embuche y

en el número de panículas por metro lineal. Lo anterior indica que el resto de las variables, fueron modificadas por las dosis y fuentes de fertilización.

La emergencia de las plantas fertilizadas con amoníaco anhidro, ocurrió en promedio tres días antes que en el resto de los tratamientos; así mismo, el crecimiento inicial fue más rápido, por lo que al inicio del amacollamiento, la altura fue significativamente mayor que la de las fertilizadas con urea y el testigo absoluto (Cuadro 1). La altura de la planta a madurez fisiológica fue estadísticamente igual con las cuatro dosis de fertilización y en promedio fue 17.2 cm mayor que la del testigo absoluto. Aunque la producción de tallos al inicio del amacollamiento fue estadísticamente igual en los tratamientos con amoníaco anhidro y urea con la dosis 138-69-60, los dos primeros produjeron en promedio 85.2 tallos más por metro lineal; lo anterior puede explicarse por el hecho de que al momento del muestreo, la mitad de la dosis de urea tenía cinco días de haber sido aplicada. En concordancia con lo anterior, en la etapa de embuche, cuando ya se había aplicado la dosis total de urea, el número de tallos en todos los tratamientos fertilizados fue estadísticamente similar. Las plantas de arroz fertilizadas con amoníaco anhidro, florecieron 6.8 y 7.5 días antes que las que se fertilizaron con urea y las del testigo absoluto, respectivamente (Cuadro 1). Lo anterior se reflejó en una cosecha más temprana, lo cual es importante, porque se disminuye el riesgo de ataque de plagas y enfermedades.

La más alta producción de materia seca al inicio del amacollamiento y en la etapa de embuche se observó en los tratamientos fertilizados con amoníaco anhidro en presembrado; lo anterior, confirma el efecto residual de este fertilizante en el suelo (Cortés *et al.*, 2005). Aunque no se observó efecto significativo en el número de panículas por metro lineal, la más alta producción se observó con el tratamiento 92-46-0 con amoníaco anhidro, seguido de esta misma fórmula, pero con urea (Cuadro 2). En arroz, el número de panículas producidas es uno de los principales componentes del rendimiento (Orona *et al.*, 1995), por lo que es explicable que en estos dos tratamientos se observaran los más altos rendimientos de arroz palay. En el mismo cuadro, se muestra que la longitud de panícula fue estadísticamente igual en las cuatro dosis de fertilización y en promedio fueron 3.3 cm más largas que las plantas no fertilizadas.

Cuadro 1. Efecto de la fertilización en altura de planta, número de tallos y días a floración en arroz de temporal. Campo Experimental Cotaxtla, Medellín de Bravo, Veracruz, 2001.

Núm.	Tratamiento (N-P-K)	AP _i (cm)	AP _m (cm)	NT _i	FI (día)
1	0-0-0 (testigo absoluto)	22.3 b	75.7 b	163.3 bc	100.0 a
2	92-46-0 con urea (testigo regional)	20.9 b	90.7 a	142.7 c	99.3 a
3	138-69-60 con urea	21.6 b	91.7 a	189.7 abc	99.3 a
4	92-46-0 con amoníaco anhidro	34.5 a	95.3 a	284.7 a	92.7 b
5	138-69-60 con amoníaco anhidro	36.4 a	94.0 a	265.0 ab	92.3 b
	Tukey, 0.05	4.91	6.69	107.59	2.55

AP_i= altura de planta al inicio del amacollamiento; AP_m= altura de planta a madurez fisiológica; NT_i= número de tallos al inicio del amacollamiento; FI= días a floración. Las medias de los tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares, Tukey al 5%.

Cuadro 2. Efecto de la fertilización en la producción de materia seca, número y longitud de panículas y rendimiento de grano en arroz de temporal. Campo Experimental Cotaxtla, Medellín de Bravo, Veracruz, 2001.

Núm.	Tratamiento (N-P-K)	MS _i (kg ha ⁻¹)	MS _e (kg ha ⁻¹)	NP (m lineal)	LP (cm)	RG (kg ha ⁻¹)
1	0-0-0 (testigo absoluto)	355.4 b	3292 b	98.0	18.6 b	2996 b
2	92-46-0 con urea (testigo regional)	303.0 b	7249 ab	134.7	21.5 a	5213 a
3	138-69-60 con urea	457.0 b	6695 ab	120.7	22.0 a	4259 ab
4	92-46-0 con amoníaco anhidro	1216.7 a	8511 a	142.0	22.3 a	5478 a
5	138-69-60 con amoníaco anhidro	1288.2 a	8074 a	118.7	21.8 a	4212 ab
	Tukey, 0.05	521.2	4117.3		2.3	1555.4

MS_i= materia seca al inicio del amacollamiento; MS_e= materia seca al embuche; NP= número de panículas; LP= longitud de panículas; RG= rendimiento de grano. Las medias de los tratamientos con letras similares son estadísticamente iguales, Tukey al 5%.

El análisis de contrastes para rendimiento de grano, mostró respuesta altamente significativa a la fertilización. Las dosis 92-46-0 y 138-69-60 de N, P y K respectivamente, obtuvieron rendimientos promedio significativamente diferentes entre sí. No se observó diferencia entre fuentes de nitrógeno (Cuadro 3).

El incremento en rendimiento de 1 795 kg ha⁻¹ pone de manifiesto, que la práctica de fertilización es un componente agronómico importante para la obtención de altos rendimientos de arroz palay (Figura 1) (C1). El rendimiento observado con la aplicación de urea fue estadísticamente similar al obtenido

con amoníaco anhidro (C2); sin embargo, con este último el rendimiento de grano promedio fue superior en 109 kg ha⁻¹. Por otra parte, no se observó respuesta a la aplicación de dosis más altas de nitrógeno y fósforo y a la aplicación de potasio (C3), ya que el más alto rendimiento promedio (5 345 kg ha⁻¹) se obtuvo con la dosis 92-46-0, sugerida para las siembras de arroz de temporal en el centro del estado de Veracruz (Ayón y Esqueda, 1992). Lo anterior, concuerda con lo reportado por Sendra *et al.* (1993),

quienes reportaron que la fertilización fosforada en arroz sólo modificó en forma significativa la altura de planta y la potásica no influyó en el rendimiento, ni el resto de los parámetros vegetativos. La falta de respuesta a la aplicación de estos macronutrientes, pudo deberse a que el suelo donde se condujo el experimento tiene altos niveles de fósforo aprovechable y de potasio intercambiable (López, 1998).

Cuadro 3. Análisis de contrastes para rendimiento de grano de los tratamientos evaluados.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	F α	
					0.05	0.01
Bloques	2	227136.0	113568.0	0.374 ns	4.46	8.65
Tratamientos	4	11534144.0	2883536.0	9.499 **	3.84	7.01
C ₁ : t ₁ vs t ₂ , t ₃ , t ₄ , t ₅	1	7728552.6	7728552.6	25.461 **	5.32	11.30
C ₂ : t ₂ , t ₃ vs t ₄ , t ₅	1	35643.0	35643.0	0.117 ns	5.32	11.30
C ₃ : t ₂ , t ₄ vs t ₃ , t ₅	1	3696300.0	3696300.0	12.177 **	5.32	11.30
Resto	1	73648.4	73648.4			
Error	8	2428320.0	303540.0			
Total	14	14189600.0				
C.V. (%)	12.43					

ns= no significativo; *= significativo al 5%; **= significativo al 1%; C. V.= coeficiente de variación; F.V. = fuente de variación; G.L. = grados de libertad; S.C.= suma de cuadrados; C.M.= cuadrado medio; F.C.= factor de corrección; F α = nivel de significancia.

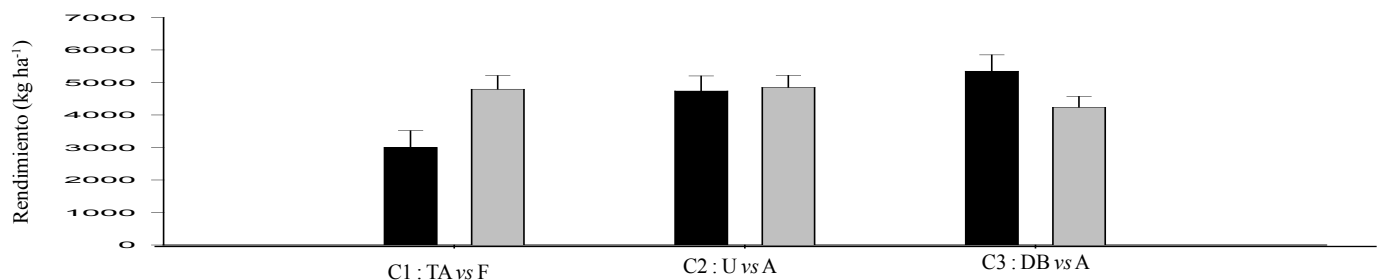


Figura 1. Rendimiento de grano promedio de tratamientos de contrastes ortogonales. TA= testigo absoluto; F=tratamientos de fertilización; U= tratamientos con fuente de urea; A= tratamientos con fuente de amoníaco anhidro; DB= dosis baja (92-46-00); DA= dosis alta (138-69-60).

El análisis económico reveló que con la dosis 92-46-0 que incluye como fuente de nitrógeno el amoníaco anhidro, se obtuvo la mayor utilidad neta y la mejor relación beneficio/costo. El costo total de fertilización con este tratamiento fue 25.2% menor que el de esta misma dosis con aportación de nitrógeno en forma de urea, lo cual obedece específicamente, a que el costo del kilogramo de nitrógeno con urea es mayor que con amoníaco anhidro, además de que en la aplicación de urea se requieren dos jornales, mientras que el precio del amoníaco anhidro ya incluye la aplicación. Con la aplicación de la dosis 138-69-60, tanto con amoníaco anhidro como con urea, obtuvieron beneficios netos inferiores que con la dosis 92-46-0 y sólo con la aplicación de amoníaco anhidro se superó en este concepto al testigo sin aplicación, en el cual tuvo el menor costo de producción. Es importante señalar, que debido al fuerte incremento en el costo de los fertilizantes, el testigo sin aplicación se observó la

mayor beneficio costo que con la aplicación de 138-69-60, lo que aunado a los bajos rendimientos obtenidos con estos últimos tratamientos, es un indicativo de que para arroz de temporal, es suficiente aplicar 92 kg de nitrógeno y 46 kg de fósforo por hectárea y no se requiere adicionar potasio. El análisis de dominancia identificó como tratamientos dominados a las dosis 92-46-0 con urea, 138-69-60 con amoníaco anhidro y 138-69-60 con urea, ya que obtuvieron beneficios netos inferiores al tratamiento 92-46-0 con aportación de nitrógeno en forma amoniacal, en el cual se tuvo un menor costo variable, por lo que estos tratamientos fueron eliminados del análisis marginal (CIMMYT, 1988). Con este último tratamiento se obtuvo una tasa de retorno marginal de 320.81%, lo cual indica que al invertir \$2 064.34 para fertilizar al arroz con la dosis 92-46-0 con aplicación de amoníaco anhidro, por cada peso que se invierte, se obtiene una ganancia de \$3.21 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis económico de los tratamientos de fertilización, para el cultivo de arroz de temporal. Medellín de Bravo, Veracruz, 2001.

Concepto	Testigo absoluto	92-46-0 (amoníaco)	92-46-0 (urea)	138-69-60 (amoníaco)	138-69-60 (urea)
Costo de urea (\$ ha)	-	-	1 600.00	-	2 400.00
Costo de amoníaco anhidro (\$ ha)	-	1 144.34	-	1 716.56	-
Costo de superfosfato de calcio triple (\$ ha)	-	800.00	800.00	1 200.00	1 200.00
Costo de cloruro de potasio (\$ ha)	-	-	-	760.00	760.00
Costo de aplicación (\$ ha) [†]	-	120.00	360.00	360.00	360.00
Costo de fertilización (\$ ha) [‡]	-	2 064.34	2 760.00	4 036.56	4 720.00
Costo de producción (\$ ha) [§]	7 465.00	9 529.34	10 225.00	11 501.56	12 185.00
Rendimiento de grano (kg ha)	2 996	5 478	5 213	4 212	4 259
Beneficio bruto (\$ ha) [¶]	10 486.00	19 173.00	18 245.50	14 742.00	14 906.50
Beneficio neto (\$ ha)	3 021.00	9 643.66	8 020.50	3 240.44	2 721.50
Relación beneficio/costo	1.40	2.01	1.78	1.28	1.22
Incremento marginal en beneficio neto (\$)	-	6 622.66	-1 623.16 D	-4 780.06 D	-518.94 D
Incremento marginal en costo variable (\$)	-	2 064.34	95.66	1 276.56	683.44
Tasa de retorno marginal (%)		320.81			

[†]= se requirieron dos jornales de \$120.00 cada uno, para la aplicación de urea y cloruro de potasio y un jornal para la aplicación de superfosfato de calcio triple; [‡]= el precio del kg de amoníaco anhidro aplicado de \$10.20, urea \$8.00, superfosfato de calcio triple \$8.00 y de cloruro de potasio \$7.60; [§]= costo oficial del Distrito de Desarrollo Rural 008 (Ciudad Alemán, Veracruz) \$10 225.00; [¶]= el precio estimado de venta del kg de arroz palay es de \$3.50; D= tratamientos dominados.

De acuerdo al análisis de sensibilidad (Cuadro 5), en el escenario 1, tanto en el testigo absoluto, como en el tratamiento 92-46-0 con amoníaco anhidro se observó una relación beneficio/costo ligeramente mayor que la obtenida con los costos de 2008. En el último tratamiento la tasa de retorno marginal se incrementó en 8.6%. Por su parte, en el escenario 2, aún manteniendo el precio del arroz en \$3.50, con el tratamiento de fertilización,

la relación beneficio/costo fue de 1.44 y la tasa de retorno marginal indicó que al fertilizar el arroz con amoníaco anhidro, se obtiene una ganancia de \$2.00 por cada peso invertido. A su vez, al no fertilizar el arroz, se obtienen beneficios brutos muy similares a los costos de producción, por lo que las utilidades netas son mínimas. Lo anterior resalta la importancia económica de utilización del amoníaco anhidro en la fertilización del arroz de temporal.

Cuadro 5. Análisis de sensibilidad del tratamiento dominante y del testigo sin fertilización.

Concepto	Año 2008		Escenario 1 [†]		Escenario 2 ^{††}	
	Testigo absoluto	92-46-0 (amoníaco)	Testigo absoluto	92-46-0 (amoníaco)	Testigo absoluto	92-46-0 (amoníaco)
Costo de fertilización (\$ ha ⁻¹)	0	2 064.34	0	2 890.08	0	2 890.08
Costo de producción (\$ ha ⁻¹)	7 465	9 529.34	10 451	13 341.08	10 451	13 341.08
Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	2 996	5 478	2 996	5 478	2 996	5 478
Beneficio bruto (\$ ha ⁻¹)	10 486	19 173	14 980	27 39	10 486	19 173
Beneficio neto (\$ ha ⁻¹)	3 021	9 643.66	4 529	14 048.92	35	5 831.92
Relación beneficio/costo	1.4	2.01	1.43	2.05	1	1.44
Tasa de retorno marginal (%)		320.81		329.4		200.58

[†]= se consideró un incremento de 40% en el costo de producción, con respecto al costo de 2008 y un precio de venta del kilogramo de arroz palay de \$5.00; ^{††}= se consideró el mismo porcentaje de incremento en el costo de producción del escenario 1, pero se mantuvo el precio de venta del kilogramo de arroz palay en \$3.50.

CONCLUSIONES

La fertilización con inyección de amoníaco anhidro en presiembra favorece la emergencia de las plántulas de arroz, el crecimiento y la producción de tallos al inicio del amacollamiento y adelanta la floración.

El rendimiento de arroz palay bajo condiciones de temporal fertilizado con la dosis 92-46-0 es similar

con urea o con amoníaco anhidro como fuentes de nitrógeno en los suelos aluviales del centro de Veracruz.

La aplicación de amoníaco anhidro en presiembra de arroz en suelos aluviales reditúa la mayor utilidad neta, la mejor relación beneficio/costo y la mayor tasa de retorno marginal.

LITERATURA CITADA

- Ayón, R. E. A. y Esqueda, E. V. A. 1992. Manual de producción de arroz en el estado de Veracruz. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Golfo, Centro-Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, Veracruz, México. 17 p. (Folleto Técnico Núm. 2).
- Becerra, E. y Tosquy, O. 2001. Efectividad biológica del Azoxystrobin para el control de *Pyricularia oryzae* Cav. y *Cercospora oryzae* Miyake en arroz de temporal en Veracruz, México. Agron. Mesoam. 12(1):105-109.
- Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Programa de Economía. México, D. F. 30 p.
- Consejo Mexicano del Arroz (COMEARROZ). 2005. Consumo del arroz en el país período 1999-2003. México, D. F. [consultado el 12 de abril de 2005]. <http://www.cdellarroz.com.mx>.
- Cortés, J. J. M.; Vásquez, H. A.; Macías, C. J. y González, A. I. J. 2005. Manejo eficiente del amoníaco anhidro en trigo y maíz. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui. Ciudad Obregón, Sonora, México. 32 p. (Folleto Técnico Núm. 52).
- García, A. J. L. 2005. Tecnología para producir arroz de temporal en la región Papaloapan. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Pacífico Sur, Campo Experimental Loma Bonita. Oaxaca, Oaxaca, México. 63 p. (Folleto Técnico Núm. 1).
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 130 p.
- Gomez, K. A. and Gomez, A. A. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2nd ed. Wiley, New York, USA. 680 p.
- Guerrero, G. A. 1990. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Hernández, A. L. y Tavitas, F. L. 2005. Plan nacional de investigación y apoyos a la transferencia de tecnología en la cadena agroalimentaria arroz. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Centro, Campo Experimental Zacatepec. Zacatepec, Morelos, México. 66 p. (Publicación Especial Núm. 42).
- López, C. C. J. 1998. Interpretación de los resultados de los análisis químicos de suelos agrícolas. Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad, Campus Veracruz. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. 45 p.
- Orona, C. F.; Borrego, E. F.; Rodríguez, H. S. A.; Hernández, A. L. y Kuruvadi, S. 1995. Estimación de heterosis y coeficientes de sendero para rendimiento y sus componentes en arroz. Agraria, Revista Científica UAAAN 11(1):18-30.
- Osuna, C. F. J.; Hernández, A. L.; Salcedo, A. J.; Tavitas, F. L. y Gutiérrez, D. L. J. 2000. Manual para la producción de arroz en la región central de México. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Centro, Campo Experimental Zacatepec. Zacatepec, Morelos, México. 78 p. (Libro Técnico Núm. 1).
- Potash & Phosphate Institute. 1988. Manual de fertilidad de los suelos. 1ª. Impresión en español. Potash & Phosphate Institute. Norcross, Georgia, USA. 85 p.
- Rodríguez, S. F. 1992. Fertilizantes: nutrición vegetal. AGT Editor, S. A. México, D. F. 157 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). 1999. Anuario estadístico de la producción agrícola por cultivo. Centro de Estadística Agropecuaria. CD-ROM.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2008. Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México, D. F. [consultado el 18 de junio de 2008]. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.

- Sendra, J.; Carreres, R.; Pomares, F.; Estela, M. y Tarazona, F. 1993. Efecto de la fertilización nitrogenada, fosforada y potásica sobre el rendimiento y el desarrollo vegetativo del arroz en Valencia. *Rev. Prod. y Protección Vegetal*. 8(2):221-234.
- Singh, B. P. and Singh, B. N. 1988. Response of rice (*Oryza sativa*) to potassium application under two water-management practices. *Indian J. Agric. Sci.* 58(11):851-853.
- Tosquy, V. O. H.; Esqueda, E. V. A.; Vásquez, H. A.; Vargas, G. A. B. y Meneses, M. I. 2005. Comportamiento de componentes tecnológicos en arroz de temporal en el estado de Veracruz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(1):77-82.
- Vásquez, H. A.; Vargas, G. A. B. y López, G. V. O. 2001. Tecnología de aplicación de amoníaco y biofertilizantes en maíz y frijol en Veracruz. *In*: Cruz, J. A. y Valdovinos, M. (comps.). Día del Agricultor 2001. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Golfo Centro, Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Veracruz, México. p. 27-34. (Memoria Técnica Núm. 1).