

EVALUACIÓN DE CINCO DOSIS DE APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO FUENTE DE SILICIO Y COMPLEMENTO A LA FERTILIZACIÓN CON FÓSFORO Y POTASIO EN EL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) VARIEDAD F-50

Livingshthone Andrade Barragán¹, Arturo Alvarez²

¹Ingeniero Agropecuario 2006

²Director de Tópico, Ingeniero Agrónomo, Universidad Hermano Saiz, Cuba, 1984, Profesor de ESPOL desde 2002.

RESUMEN

En el cultivo de arroz en el Ecuador es poco considerado el aporte de silicio (Si) en la fertilización pese a que este nutriente es absorbido en grandes cantidades por las gramíneas. Por ello en el presente trabajo se efectuó con el objetivo de estudiar diferentes dosis de Si utilizando como fuente la ceniza de cascarilla de arroz además de distintos niveles de fertilización de fósforo (P) y potasio (K). Las dosis de silicio utilizadas fueron de 0; 197.3; 394.7; 592 y 789.3 Kg/Ha. Las cantidades evaluadas de fósforo fueron 17 y 22.5 Kg/Ha y de potasio fueron de 104 y 139 Kg/Ha.

En las variables altura de planta a los 105 ddt* y longitud de raíz a los 45 ddt se encontraron diferencias altamente significativas con dosis de silicio de 394,7 Kg/Ha al igual que con la dosis de 197.3 Kg/Ha, en la variable panículas/metro cuadrado. Los niveles de fósforo probados no generaron diferencias estadísticas en ninguna de las variables estudiadas. En el factor potasio, con la dosis de 139 Kg/Ha se obtuvieron diferencias estadísticas en las variables altura de planta a los 105 ddt, macollos/m² y panículas/m². Solo el factor potasio en la dosis de 139 Kg/Ha generó diferencias significativas en el rendimiento, lo cual no sucedió con el P y el Si.

**días después del transplante*

ABSTRACT

In Ecuador, the rice's crop is barely considered the contribution of silicon (Si) in the fertilization in spite that this nutrient is absorbed in big quantities by the gramineous. This work was made with the objective of studying different dose of silicon using as source the ash of husk of rice besides different levels of phosphate (P) and potassium (K) fertilization. The silicon doses were 0; 197.3; 394.7; 592 and 789.3 Kg/Ha. The valued quantities of phosphate were 17 and 22.5 Kg/Ha and of potassium were of 104 and 139 Kg/Ha.

In the variable of plant height at 105 ddt* and root longitude at 45 ddt were highly significant differences with dose of silicon of 394.7 Kg/Ha the same as with the dose of 197.3 Kg/Ha, in the variable of panicles/m². The levels of phosphate didn't generate statistical differences in the variables that were studied. In the factor of potassium, with the dose of 139 Kg/Ha statistical differences were obtained in the variable plant height at 105 ddt, triller/ m² and panicles/ m². Only the factor of potassium in the dose of 139 Kg/Ha generated significant differences in the yield, that which didn't happen with the P and the Si.

**days before the transplant*

INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), después del trigo, es uno de los alimentos básicos de la humanidad⁷. En el Ecuador es uno de los cultivos más importantes, tanto por la superficie de su sembrío que se aproxima a las 400000 hectáreas, como por su valor alimenticio y por aporte de divisas que genera (60 millones de dólares al año)⁶. Se lo siembra mayormente en las provincias del Guayas y Los Ríos. El consumo por persona por año es de 43 Kg de arroz blanco. En 1997 se exportaron 140000 toneladas métricas de arroz pilado¹. Dentro de la Comunidad Andina, el Ecuador es el país con mayor superficie sembrada de este cultivo¹¹.

En el proceso de pilado del arroz el desecho más abundante es la cascarilla. Se han realizado investigaciones y estudios que demuestran cantidades de silicio en la ceniza.

El silicio no es considerado por los fisiólogos y nutricionistas vegetales como elemento esencial, para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo para muchas familias de plantas, especialmente monocotiledóneas, gramíneas; el aporte de silicio al suelo incide en lograr cosechas de mejores rendimientos y calidad¹⁰.

Para el crecimiento normal del arroz es necesario el silicio. La primera evidencia de que este nutriente es necesario en el arroz fue dado por Sommer (1926). Se acepta generalmente que el arroz requiere grandes cantidades de silicio. En un cultivo de arroz que produce 10 Tn/ha de grano, las plantas pueden absorber hasta 1 Tn/ha de silicio⁴.

En la industria arrocera el principal desecho que se genera es la cascarilla que cubre el arroz, que en algunos casos, como en Pronaca, es usada la combustión de la misma para el calentamiento del aire destinado al proceso de secamiento del arroz. Pero una vez quemada, esta ceniza no tiene algún uso, la cual representa un problema en el momento de deshacerse de ella perjudicando el entorno.

Es necesario realizar investigaciones dirigidas a encontrarle un provecho a esta ceniza, ya que entre el contenido de nutrientes se encuentra en gran cantidad el silicio, y este elemento es necesario para el cultivo de arroz.

Por las razones expuestas, se realizará la presente investigación en el arroz variedad F 50, persiguiendo los objetivos siguientes: Conocer el efecto de la aplicación de ceniza de cascarilla de arroz con relación a la fertilización en el cultivo de arroz. Medir el efecto de la ceniza en la reducción de los niveles de fertilización con fósforo y potasio. Realizar un análisis económico de los tratamientos en estudio.

CONTENIDO

1. El silicio

El Silicio (Si) no es considerado por los fisiólogos y nutricionistas vegetales como elemento esencial para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo para muchas familias de plantas, especialmente monocotiledóneas gramíneas; el aporte de silicio al suelo incide en lograr cosechas de mejores rendimientos y calidad^{9 10}.

Muchas plantas pueden absorber Si, dependiendo de las especies, el contenido de Si que va acumulando en la biomasa puede ir de 10 a mayor que 100 g/kg. Las dicotiledóneas como el tomate, pepino y soya son consideradas como pobres acumuladores de Si con los valores menos de 1 g/Kg en su biomasa. El Si es acumulado en niveles iguales o mayores que los nutrientes esenciales en especies de plantas que pertenecen a las familias Poaceae, Equisetaceae, y Cyperaceae. En el arroz, por ejemplo, la acumulación de Si es aproximadamente 108% mayor que el de nitrógeno⁹.

Para el crecimiento normal del arroz es necesario el silicio. La primera evidencia de que este nutriente es necesario en el arroz fue dado por Sommer (1926). Se acepta generalmente que el arroz requiere grandes cantidades de silicio. En un cultivo de arroz que produce 10 Tn/ha de grano, las plantas pueden absorber hasta 1 Tn/ha de silicio por hectárea⁴.

Las funciones del silicio en el crecimiento del arroz no son muy claras, y aunque los resultados de varios estudios difieren, parece que un incremento en la absorción de este elemento por parte de las plantas las protege de las infecciones de hongos y el ataque de insectos, mantiene erecta las hojas, disminuye tanto las pérdidas por transpiración como la absorción de hierro y manganeso, e incrementa el poder oxidante de las raíces^{2 4 5}.

Las deficiencias de Si pueden presentarse por uno o más de los siguientes factores. El bajo poder de abastecimiento de Si debido a que el suelo es muy viejo y altamente meteorizado. El material parental contiene pequeñas cantidades de Si. Agotamiento de Si disponible en el suelo por la remoción de paja de arroz del lote en un largo período. La erosión que disminuye los contenidos de materia

orgánica, alterando la población de microorganismos que intervienen en su mineralización afectando la disponibilidad de Si²⁵.

Un bajo contenido de Si en plantas de arroz indica que el suelo tiene mala fertilización (el Si es muy susceptible a la lixiviación). En la Tabla I se observan los niveles de Si. Los suelos que contienen baja cantidades de Si generalmente también son pobres en otros nutrientes y viceversa. El contenido de Si es un indicador general del contenido de nutrientes en la planta, excepto en suelos volcánicos que a menudo contienen una alta concentración de Si, pero bajas cantidades de P, Ca y Mg⁵.

Tabla I. Rangos óptimos y niveles críticos de Si en los tejidos de la planta⁵⁸.

Etapas de crecimiento	Parte de la planta	Óptimo %	Nivel crítico para la deficiencia (%)
Macollamiento a inicio de la panoja	Hoja Y		<5
Madurez	Paja	8 - 10	<5

En la Tabla II se observa el empleo del silicio por el cultivo de arroz; la absorción del silicio es paralela al aumento de materia seca a través de las diversas etapas de desarrollo del cultivo. La cantidad empleada de este elemento útil por el cultivo es mayor que la de los elementos esenciales. Alto contenido de sílice (SiO₂) en los suelos mejora la absorción de otros nutrimentos²³.

Tabla II. Absorción de silicio por la variedad CICA 8, en el CIAT.

Edad de la planta, días	Si Kg/Ha
15	0.30
30	2.43
45	8.12
60	17.89
75	40.48
90	92.24
105 paja	140.67
105 panícula	25.86
140 paja	242.47
140 paja	136.50

En el momento de la cosecha si solamente se saca el grano y se retorna la paja al lote, se remueven ~15 Kg de Si t-1 de grano. La quema de la paja no resulta en pérdidas importantes de Si, excepto cuando la paja se quema en montones grandes y luego el Si se lixivia de la ceniza (por la irrigación o fuertes lluvias)⁵.

En suelos con bajos niveles de silicio disponibles, la aplicación de este elemento aumentan los rendimientos de una variedad moderna, con altas tasas de aplicación de fertilizantes nitrogenados. Los efectos del Si se clasifican en cuatro categorías. El efecto sobre el crecimiento normal de las plantas, fortaleciendo los tallos y raíces, también favorece la formación de la panícula. Aumenta el número de espiguillas por panícula y el porcentaje de granos maduros. Ayuda a mantener las hojas erectas, lo cual es importante para la alta tasa de fotosíntesis. El efecto sobre la economía del agua, en las plantas deficientes de silicio sufre de estrés interno por agua cuando se colocan en ambientes en los cuales aumenta considerablemente la transpiración o empeora en forma notable la absorción de agua. El suministro de Si es crítico durante el inicio de la formación de la panícula, cuando la actividad de la raíz es un poco menor y la pérdida de agua por transpiración es alto⁴.

Los efectos sobre la resistencia a los insectos y enfermedades, la aplicación de Si crea una capa gruesa en la cutícula representando una barrera excelente ante los ataques de hongos, insectos (barrenadores y saltamontes), ácaros y arañas, debido a su dureza física. Además disminuye la acción desfavorable del nitrógeno sobre la resistencia del arroz sobre las enfermedades de tizón o

añublo. El efecto sobre otros nutrientes, el Si parece estimular la traslocación del fósforo en la planta de arroz y la retención de exceso del fósforo absorbido. También hace que el fósforo del suelo sea accesible para el arroz. Las hojas de plantas deficientes en Si se vuelven delicadas y senescentes^{4,5}.

Tomando en cuenta que el Si puede controlar varias enfermedades en el arroz al mismo grado de un fungicida, es posible que el Si pudiera ayudar a reducir el número de aplicaciones del fungicida o la proporción del uso del ingrediente activo⁹.

Para prevenir la deficiencia de Si se deben tomar en cuenta las siguientes medidas. En algunas áreas ocurren ingresos sustanciales de Si en el agua de irrigación, particularmente si se usa agua de pozo de áreas con geología volcánica. La deficiencia de Si se previene a largo plazo evitando remover la paja del lote después de la cosecha. Reciclar la paja del arroz (5-6% de Si) y los residuos de molienda (10% de Si), o sus cenizas para reducir la cantidad de Si removido del suelo. Evitar las aplicaciones de cantidades excesivas y desbalanceadas de fertilizantes nitrogenados que incrementan la absorción total de N y Si, pero que también reducen la concentración de Si en la paja (por el excesivo crecimiento de la biomasa)⁵.

2. Materiales y métodos

Este ensayo se realizó en el cantón Daule de la Provincia del Guayas, a 9 m.s.n.m. Se realizó un análisis de suelo previo al inicio de la investigación, cuyos resultados se exponen en la Tabla III.

Tabla III. Resultados e interpretación del análisis de suelo del área del ensayo en niveles de alto (A), medio (M) y bajo (B), según el laboratorio NemaLab.

pH	N	P	S	K	Ca	Mg	M.O.	C.I.C.
	p.p.m.			meq/100g			%	
7.0	18 B	30 A	49,6 A	0,23 M	15,7 A	6,25 A	1,44 B	33,8 A

La ceniza de cascarilla de arroz fue usada como fuente de silicio en esta investigación. Las diferentes dosis de ceniza se incorporaron al terreno de forma uniforme con la ayuda de un motocultor. El factor A en estudio estaba constituido por las dosis de silicio, en la Tabla IV se describe el aporte con 0; 0.25; 0.5; 0.75 y 1 Tn/Ha de ceniza de cascarilla de arroz. Los dos niveles de fertilización fosforada (17 y 22.5 Kg P₂O₅/Ha) constituyen el Factor B y la fertilización con 104 y 139 Kg K₂O/Ha corresponden al Factor C. El aporte de N fue igual para todos los tratamientos con 120 Kg/Ha.

Tabla IV. Contenido de nutrientes de la ceniza de cascarilla de arroz y su aporte mineral en las diferentes dosis de aplicación empleadas (INIAP Sta. Catalina, Dpto de Nutrición vegetal)

	%	Aporte de nutrientes (Kg/Ha)			
		0,25 Tn/Ha	0,5 Tn/Ha	0,75 Tn/Ha	1,0 Tn/Ha
SiO ₂	78,93	197,3	394,7	592,0	789,3
P ₂ O ₅	0,649	1,6	3,2	4,9	6,5
K ₂ O	2,97	7,4	14,9	22,3	29,7
Fe ₂ O ₃	0,518	1,3	2,6	3,9	5,2
CaO	0,513	1,3	2,6	3,8	5,1
MgO	0,206	0,5	1,0	1,5	2,1

De la combinación de los factores en estudio resultaron 20 tratamientos mismos que se describen en la Tabla V.

Tabla V. Tratamientos en estudio

<i>Tratamientos</i>	<i>Dosis de SiO₂ (Kg/Ha)</i>	<i>Dosis de P₂O₅ (Kg/Ha)</i>	<i>Dosis de K₂O (Kg/Ha)</i>
T ₁	197.3	22.5	139
T ₂	197.3	22.5	104
T ₃	197.3	17.0	139
T ₄	197.3	17.0	104
T ₅	394.7	22.5	139
T ₆	394.7	22.5	104
T ₇	394.7	17.0	139
T ₈	394.7	17.0	104
T ₉	592.0	22.5	139
T ₁₀	592.0	22.5	104
T ₁₁	592.0	17.0	139
T ₁₂	592.0	17.0	104
T ₁₃	789.3	22.5	139
T ₁₄	789.3	22.5	104
T ₁₅	789.3	17.0	139
T ₁₆	789.3	17.0	104
T ₁₇	0.0	22.5	139
T ₁₈	0.0	22.5	104
T ₁₉	0.0	17.0	139
T ₂₀	0.0	17.0	104

Con la finalidad de evaluar el efecto de los tratamientos sobre el cultivo se tomaron las siguientes variables: altura de la planta (cm) a los 105 ddt, longitud de la raíz (cm) a los 45 ddt, macollos/metro cuadrado, panículas/metro cuadrado, granos/panículas, vaneamiento (%), peso de 1000 granos (g) a la cosecha y el rendimiento expresado en Tn/Ha. Se hicieron los análisis foliares respectivos para comprobar el estado nutricional del cultivo a los 80 ddt.

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas, estando en la parcela las dosis de aplicación de Si y en las sub parcelas los diferentes niveles de P y K. Para el análisis funcional se usará la prueba Tukey al 5%.

3. Resultados y Discusión

Los resultados de las evaluaciones de las diferentes variables registradas por tratamiento durante el ensayo se mencionan en la Tabla VI. En la tabla se observan que los tratamientos que lograron los mas altos rendimientos fueron T5 y T7, con 7.87 y 8.02 Tn/Ha respectivamente.

Tabla VI. Resultados obtenidos de cada una de las variables estudiadas durante el ensayo por tratamiento.

Trat.	Altura de planta 105 ddt (cm)	Longitud de raíz 45 ddt (cm)	Macollos/m ²	Panículas /m ²	Granos/ espiga	Vaneamiento (%)	Peso de 1000 granos (g)	Producción ajustada (Tn/Ha)*
T1	98,18	21,80	292,50	302,25	182,33	13,61	30,75	7,37
T2	96,80	22,89	265,75	289,50	176,42	18,13	30,38	7,44
T3	97,78	22,07	277,00	299,25	185,08	16,49	30,25	7,66
T4	96,22	21,88	261,00	265,25	183,17	15,74	29,88	7,10
T5	98,49	22,68	281,00	285,25	170,50	17,33	30,75	7,87
T6	97,64	24,53	260,25	262,50	171,58	13,42	30,50	6,86
T7	99,26	23,85	305,25	308,75	178,00	16,17	30,88	8,02
T8	96,14	24,37	261,50	265,25	168,17	10,74	30,63	7,20
T9	97,63	22,62	274,25	285,75	168,50	15,54	30,63	7,39
T10	96,20	22,76	252,50	258,00	184,92	15,76	29,88	7,11
T11	97,44	22,95	275,75	271,00	176,08	13,75	29,88	7,34
T12	95,76	23,33	264,50	255,25	182,50	13,97	29,88	7,22
T13	97,39	22,79	302,50	278,50	171,17	13,61	30,38	6,99
T14	94,40	22,13	261,00	267,75	160,17	12,33	30,38	6,74
T15	97,52	22,53	262,75	258,50	171,08	16,08	30,13	7,18
T16	95,08	23,00	250,25	248,75	180,92	15,62	29,88	6,65
T17	97,30	22,95	272,75	277,75	181,00	16,32	30,75	7,58
T18	95,64	22,64	258,00	261,00	168,50	16,25	30,13	7,14
T19	97,53	22,16	283,25	286,50	178,33	17,64	30,00	7,70
T20	97,07	22,58	251,50	253,00	176,25	13,92	30,38	7,16

* Producción ajustada al 22% de humedad

Para entender mejor los resultados de la investigación, las Tablas VII, VIII y IX muestran los resultados obtenidos de cada uno de los factores en estudio y sus correspondientes análisis estadísticos.

Tabla VII. Resultados de obtenidos durante la investigación con el factor dosis de aplicación de Silicio (Kg/Ha).

Factor A Dosis de Si (Kg/Ha)	Altura de planta 105 ddt (cm)	Longitud de raíz 45 ddt (cm)	Macollos/m ²	Panículas /m ²	Granos/ panículas	Vaneamiento 100 ddt (%)	Peso de 1000 granos (g)	Producción ajustada (Tn/Ha)
ADEVA	**	**	n.s	**	n.s	n.s	n.s	n.s
0.0	96,89 b	22,58 c	266,38	269,56 c	176,02	16,03	30,31	7,4
197.3	97,24 b	22,16 c	274,06	289,06 a	181,75	15,99	30,31	7,39
394.7	97,88 a	23,85 a	277	280,44 b	172,06	14,42	30,69	7,49
592.0	96,76 b	22,91 b	266,75	267,5 c	178	14,75	30,06	7,27
789.3	96,10 b	22,61 b	269,13	263,38 c	170,83	14,41	30,19	6,89

En la tabla anterior (dosis de Si) se observan diferencias altamente significativas en la variable altura de la planta (cm) a los 105 ddt, donde la dosis 394.7 Kg Si/Ha obtuvo la mayor altura según la prueba de Tukey al 5%. El segundo rango correspondió a las demás dosis, éstas fueron estadísticamente iguales entre sí e inferiores a la otra dosis.

En longitud de raíz (cm) a los 45 ddt se observan diferencias altamente significativas, en la cual la dosis de 394,7 Kg Si/Ha logró la mayor longitud. La dosis de 197.3 Kg Si/Ha generó la mayor cantidad de panículas/m², con diferencias altamente significativas respecto a las demás dosificaciones.

En las variables de peso de 1000 granos y producción ajustada al 22% de humedad (Tn/Ha) no se obtuvieron diferencias significativas entre las dosis. Sin embargo, entre las dosis de 197.3 y 394.7 Kg Si/Ha se encontraron los resultados que numéricamente fueron mayores en comparación a las demás dosis.

Tabla VIII. Resultados de obtenidos durante la investigación con el factor dosis de aplicación fósforo (Kg P₂O₅/Ha).

Factor B Kg P ₂ O ₅ /Ha	Altura de planta 105 ddt (cm)	Longitud de raíz 45 ddt (cm)	Macollos/ m ²	Panículas /m ²	Granos/ panículas	Vaneamiento 100 ddt (%)	Peso de 1000 granos (g)	Producción ajustada (Tn/Ha)
ADEVA	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
22.5	96,97	22,78	272,05	276,83	173,51	15,23	30,45	7,25
17.0	96,98	22,87	269,28	271,15	177,96	15,01	30,18	7,43

En el factor B, no generó diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables estudiadas.

Tabla IX. Resultados de obtenidos durante la investigación con el factor dosis de aplicación potasio (Kg K₂O/Ha).

Factor C Kg K ₂ O/Ha	Altura de planta 105 ddt (cm)	Longitud de raíz 45 ddt (cm)	Macollos/ m ²	Panículas /m ²	Granos/ panículas	Vaneamiento 100 ddt (%)	Peso de 1000 granos (g)	Producción ajustada (Tn/Ha)
ADEVA	**	n.s	**	**	n.s	n.s	n.s	*
139	97,85 a	22,64	282,7 a	285,35 a	176,21	15,66	30,44	7,51 a
104	96,09 b	23,01	258,63 b	262,63 b	175,26	14,59	30,19	7,06 b

En el factor C se encontraron diferencias altamente significativas en la variable altura de la planta (cm) a los 105 ddt, macollos/m², panículas/m² y rendimiento, donde la dosis de 139 Kg K₂O/Ha fue estadísticamente superior a la dosis de 104 Kg K₂O/Ha.

No se registraron interacciones significativas entre los factores en estudio en ninguna de las variables estudiadas.

Se realizó un análisis foliar a los 80 ddt por tratamiento para comprobar el estado nutricional del cultivo y las cantidades de silicio presentes en las hojas. En la Tabla X se indican los resultados de los análisis.

Tabla X. Resultados de análisis foliares realizados por tratamiento a los 80 ddt.

Identificación	N	P	K	Ca	Mg	SiO ₂
	%					
T1	1,80	0,14	1,11	0,86	0,12	15,08
T2	1,70	0,13	1,02	0,89	0,12	13,97
T3	1,90	0,14	1,08	0,88	0,12	15,05
T4	1,80	0,14	1,04	0,90	0,12	15,17
T5	1,80	0,15	0,99	0,86	0,10	16,15
T6	1,70	0,13	0,98	0,81	0,11	15,33
T7	1,60	0,14	1,00	0,86	0,10	15,97
T8	1,60	0,14	0,97	0,84	0,10	16,65
T9	1,50	0,13	1,08	0,83	0,10	15,15
T10	1,70	0,13	0,99	0,84	0,10	16,04
T11	1,60	0,13	1,04	0,84	0,10	16,38
T12	1,60	0,14	1,10	0,86	0,09	15,47
T13	1,70	0,13	1,07	0,88	0,11	14,92
T14	1,60	0,13	1,06	0,90	0,11	16,20
T15	1,50	0,14	1,01	0,90	0,12	15,87
T16	2,00	0,13	1,02	0,88	0,12	15,60
T17	2,00	0,14	1,05	0,83	0,11	14,76
T18	1,80	0,15	1,04	0,84	0,10	15,49
T19	1,60	0,13	1,07	0,84	0,11	14,91
T20	1,50	0,12	1,16	0,83	0,10	15,11

**Análisis foliares realizado por INIAP Sta. Catalina, Departamento de nutrición vegetal*

Fairhurst y Dobbermann, (2000), consideran como nivel crítico el 5% de Si en las hojas en madurez por lo que todos los tratamientos sobrepasan dicho valor, incluso los tratamientos en los que no se aplicó dicho elemento, pero valores ligeramente mayores se registraron en los testigos tratados.

Al realizar los análisis de correlación respectivos entre los análisis foliares de N, P, K y SiO₂ versus el rendimiento, se encontraron coeficientes de correlación de 0.02 n.s; 0.39 n.s; 0.002 n.s y 0.18 n.s respectivamente para los elementos mencionados. Si bien ninguno de ellos mostró correlación significativa con el rendimiento, el P aparece como el elemento más influyente en el rendimiento.

También se realizaron análisis económicos que se presentan a continuación en las Tablas X, XI y XII.

Tabla XI. Análisis económico del experimento y cálculo del Ingreso neto en finca.

	Rendimiento Ajustado (Tn/Ha)	Costos variables (USD/Ha/ciclo)	Beneficio bruto (USD/Ha/ciclo)	Ingreso neto (USD/Ha/ciclo)	Diferencia con TF
T1	7,37	749,32	1461,63	712,31	-47,34
T2	7,44	708,07	1475,02	766,95	7,30
T3	7,66	750,79	1520,17	769,38	9,73
T4	7,10	699,11	1408,25	709,14	-50,51
T5	7,87	766,02	1560,31	794,29	34,64
T6	6,86	706,85	1361,13	654,27	-105,38
T7	8,02	765,05	1589,96	824,91	65,26
T8	7,20	709,22	1428,74	719,52	-40,13
T9	7,39	766,50	1466,67	700,18	-59,47
T10	7,11	719,28	1409,27	689,99	-69,66
T11	7,34	762,19	1456,71	694,52	-65,13
T12	7,22	717,89	1432,32	714,43	-45,22
T13	6,99	768,16	1387,15	618,98	-140,67
T14	6,74	721,55	1336,93	615,38	-144,27
T15	7,18	767,76	1423,46	655,70	-103,95
T16	6,65	716,69	1318,74	602,05	-157,60
T17 (TF)	7,58	744,54	1504,18	759,65	0,00
T18	7,14	694,68	1415,38	720,70	-38,95
T19	7,70	743,00	1527,11	784,10	24,45
T20	7,16	691,82	1421,08	729,26	-30,39

Tabla XII. Análisis del Beneficio incremental (Bi); costo incremental (Ci) de las aplicaciones de Si en forma de ceniza de cascarilla de arroz y el retorno (%) en el experimento.

Tratamientos	Beneficio bruto/USD/Ha/ciclo	Bi USD/Ha/ciclo	Ci USD/Ha/ciclo	Bi/Ci	Ri (%)
T1	1461,63	-42,55	8,37	-5,08	
T2	1475,02	-29,16	8,37	-3,48	
T3	1520,17	15,99	8,37	1,91	91,00
T4	1408,25	-95,93	8,37	-11,46	
T5	1560,31	56,13	16,75	3,35	235,09
T6	1361,13	-143,05	16,75	-8,54	
T7	1589,96	85,78	16,75	5,12	412,14
T8	1428,74	-75,44	16,75	-4,50	
T9	1466,67	-37,51	25,12	-1,49	
T10	1409,27	-94,91	25,12	-3,78	
T11	1456,71	-47,47	25,12	-1,89	
T12	1432,32	-71,86	25,12	-2,86	
T13	1387,15	-117,03	33,49	-3,49	
T14	1336,93	-167,25	33,49	-4,99	
T15	1423,46	-80,72	33,49	-2,41	
T16	1318,74	-185,44	33,49	-5,54	
T17 (TF)	1504,18	0,00	0,00		
T18	1415,38	-88,80	0,00		
T19	1527,11	22,93	0,00		
T20	1421,08	-83,10	0,00		

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en el ensayo, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

1. La dosis de 394,7 Kg de SiO₂/Ha permitió alcanzar los más altos rendimientos con 7.49 Tn/Ha de grano con humedad del 22%, superior en 0.09 Tn a los tratamientos sin uso de silicio. Dosis de SiO₂ mayores produjeron disminución en la producción. Los niveles foliares de SiO₂ en todos los tratamientos fueron altos y se encontró una baja correlación entre dichos niveles y el rendimiento.
2. La fertilización con dosis bajas de fósforo (17 Kg P₂O₅/Ha) y con dosis altas evaluadas (22.5 Kg P₂O₅/Ha) no mostraron diferencias en ninguna de las variables estudiadas ni en el rendimiento. Paradójicamente el contenido foliar de fósforo, mostró el mayor coeficiente de correlación con el rendimiento a pesar de no ser un valor estadísticamente significativo en este ensayo.
3. Con respecto al potasio sucedió lo contrario con la dosis alta (139 Kg K₂O/Ha) produjo mejores características en todas las variables evaluadas y rendimiento estadísticamente superior a la dosis inferior probada de 104 Kg K₂O/Ha en la variedad F50.
4. Los tratamientos 2, 3, 5, 7 y 19 mostraron diferencia positiva en el Ingreso Neto frente al testigo finca (T17), pero solo los tratamientos 3, 5 y 7 mostraron relación beneficio/costo (Bi/Ci) favorable con 1.91; 3.35 y 5.12 respectivamente. Lo anterior permite concluir que T7 (394.7 Kg SiO₂/Ha; 17 Kg P₂O₅/Ha y 139 Kg K₂O/Ha) es el tratamiento más rentable ya que produjo el mayor Ingreso neto, 65,26 USD/Ha/ciclo superior al testigo finca y una relación Bi/Ci de 5.12.

REFERENCIAS

1. F. Andrade, Proyecto Integral Arroz Manual del Cultivo de Arroz (Iniap-Fenarroz, Ecuador 1998).
2. L.A. Castilla Lozano, Compendio Resultados de Investigación 2001-2002, "Respuesta de Fedearroz 50 a la aplicación de silicio en forma edáfica y foliar" (Fedearroz, 2001), pp. 88-92.
3. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Los macro nutrientes en la nutrición de la planta de arroz Guía de estudio (Cali Colombia 1983), pp. 9-14.
4. K. de Datta Surajit, Producción de arroz Fundamentos y Prácticas (1era. Edición, México, Editorial Limusa, 1986), pp. 395-470.
5. A. Dobermann y T. Fairhurst, Arroz Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes (1era. Edición en español, Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and Internacional Rice Research Institute (IRRI), 2000), pp. 108-111.
6. Edifarm, Vademécum Agrícola 2004 Ecuador (Octava Edición, Ecuador, 2004), pp. 41-52.
7. Idea Books S.A., Biblioteca de la Agricultura (2da. Edición, España, Editorial Lexus, Mayo 1998), pp. 481-487.
8. International Fertilizer Industry Association (IFA), World Fertilizer Use Manual, CD-Rom.
9. D. Lawrence E. y F. Á. Rodrigues, The role of Silicon in Suppressing Rice Diseases (APS net, Febrero 2005, Archivo Adobe).
10. J. E. Ortega, El silicio, un nutriente con fortalezas para la eficiente productividad de diversos cultivos, especialmente para el arroz (Mejisulfatos S.A., Colombia 2001).
11. Servicio de Información y Censo Agropecuario del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (SICA), 2003, <http://www.sica.gov.ec>.