

Juan Hirzel

## Nuevos antecedentes en la fertilización nitrogenada.

### Optimización del uso de nitrógeno en el cultivo de arroz usando análisis de suelo

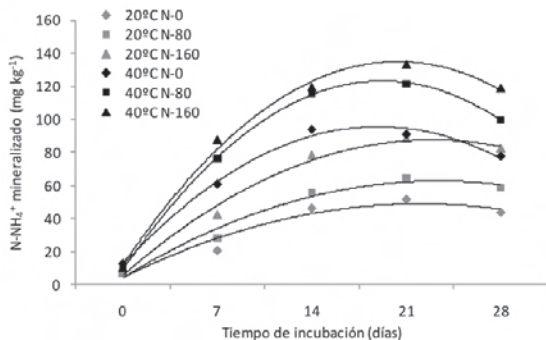
En el marco del proyecto Fondecyt “Potencial de mineralización de Nitrógeno en suelos arroceros de Chile” cuyo objetivo general fue Optimizar la dosis de nitrógeno (N) a emplear en el cultivo de arroz en Chile en función del potencial de N mineralizable en los diferentes tipos de suelo de aptitud arrocerera, se trabajó en 6 suelos arroceros de Chile (Inceptisoles serie Quilmen y Achibueno, Alfisoles serie Parral y Chiguay, Vertisoles serie Quella) durante 3 temporadas consecutivas, realizando experimentos de laboratorio en la primera temporada, y experimentos de campo durante las temporadas dos y tres.

En los experimentos de laboratorio se determinó la capacidad de mineralización de N de cada suelo bajo diferentes técnicas de incubación de los suelos. En los experimentos de campo se trabajó con la variedad Zafiro-INIA, 3 dosis de N (0, 80 y 160 kg/ha) aplicadas en 3 parcialidades de igual magnitud (siembra, inicio de macolla e inicio de panícula), y para cada suelo se determinó la respuesta en rendimiento y la absorción de N por el cultivo frente a la dosis de N empleada. Además se relacionó el N absorbido por el cultivo en cada condición de estudio con el N mineralizado en laboratorio para cada metodología evaluada.

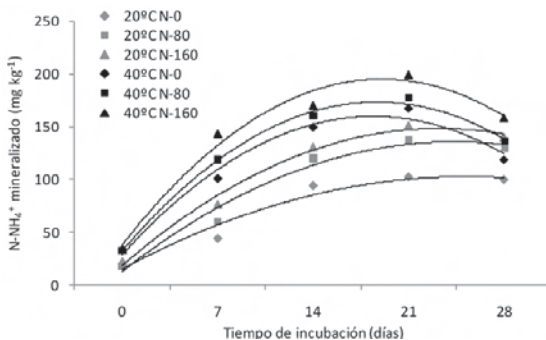
Se determinó la metodología de análisis de laboratorio más adecuada para representar la realidad de absorción y necesidad de N del cultivo de arroz en condiciones de campo en los diferentes suelos y condiciones de estudio, que correspondió a incubación anaeróbica de muestras de suelo en condiciones sin agitación a una temperatura de 20°C y por un tiempo continuo de 21 días (Figuras 1.1, 1.2 y 1.3).

Los resultados de los experimentos de campo indicaron que, de las dosis de N evaluadas, el uso de 80 kg/ha permitió maximizar el rendimiento obtenido en todas las condiciones de evaluación, con mayor respuesta a la aplicación de N en los suelos del orden Vertisol (serie Quella), como se puede observar en las Figuras 1.4 y 1.5.

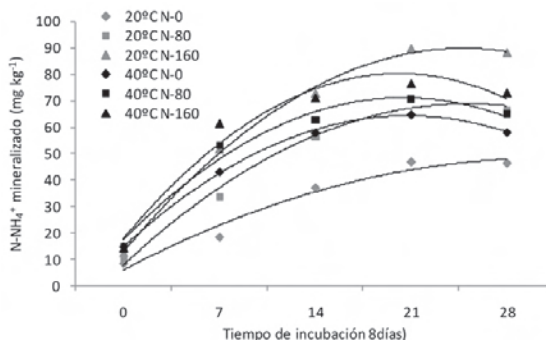




**Figura 1.1.** Mineralización de N amoniacal en un suelo Inceptisol serie Achibueno incubado en forma anaeróbica sin agitación con tres dosis de N (equivalentes a 0, 80 y 160 kg/ha) a temperaturas de 20 y 40°C durante diferentes tiempos que incluyen 0, 7, 14, 21 y 28 días.



**Figura 1.2.** Mineralización de N amoniacal en un suelo Alfisol serie Parral incubado en forma anaeróbica sin agitación con tres dosis de N (equivalentes a 0, 80 y 160 kg/ha) a temperaturas de 20 y 40°C durante diferentes tiempos que incluyen 0, 7, 14, 21 y 28 días.



**Figura 1.3.** Mineralización de N amoniacal en un suelo Vertisol serie Quella incubado en forma anaeróbica sin agitación con tres dosis de N (equivalentes a 0, 80 y 160 kg/ha) a temperaturas de 20 y 40°C durante diferentes tiempos que incluyen 0, 7, 14, 21 y 28 días.

La composición de macronutrientes de la planta de arroz (planta entera) para la generalidad de estos experimentos correspondió a 0,51-0,77% de Nitrógeno; 0,13-0,18% de Fósforo; 0,54-1,08% de Potasio; 0,17-0,26% de Calcio; y 0,08-0,15% de Magnesio.

Finalmente se desarrolló un modelo de optimización del N a aplicar en el cultivo de arroz para cada condición de suelo evaluado, que relacionó el rendimiento a obtener, la necesidad de N del cultivo expresada como kg de N por Tonelada de grano a producir, el N mineralizado por el suelo y la relación entre la dosis de N a aplicar para incrementar el N disponible en el suelo que permitiera satisfacer la demanda del cultivo que no es cubierta por el N mineralizado en ausencia de fertilización. El modelo propuesto a partir de los resultados obtenidos fue el siguiente:

$$\text{Dosis de N} = [ \text{RG} * \text{INA-Arroz} - \text{Nmineralizado} ] * \text{IRNN}$$

Donde;

**Dosis de N:** Cantidad de N a aplicar a través de la fertilización y que corresponde al N absorbido por el cultivo como complemento al suministro natural del suelo (kg ha<sup>-1</sup>)

**RG:** Rendimiento de grano (Toneladas grano ha<sup>-1</sup>)

**INA-Arroz:** Índice de N absorbido por el cultivo de arroz por unidad de rendimiento de grano (kg N por Ton grano<sup>-1</sup>)

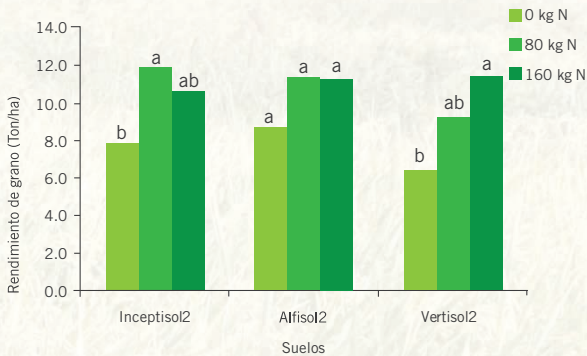
**Nmineralizado (kg ha<sup>-1</sup>):** suministro de N desde el suelo a través de la mineralización en incubaciones sin agitación a 20°C por 21 días o 40°C por 7 días.

**IRNN:** Índice de relación entre el N aplicado y el N absorbido por el cultivo de arroz (kg N aplicado por kg N absorbido<sup>-1</sup>) como efecto de la fertilización con N (el suministro de N del suelo sin adición de N como fertilizante es descontado de este índice).

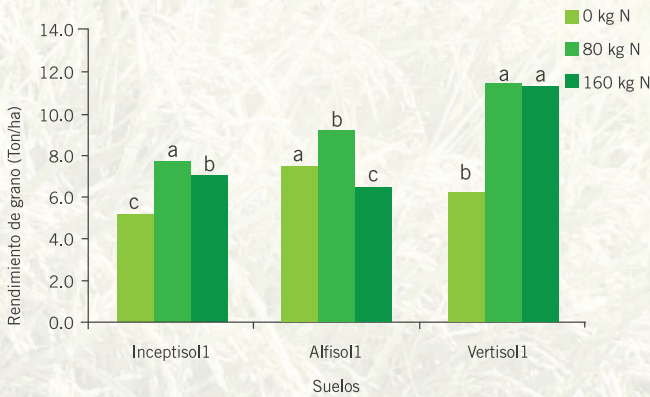
Los valores obtenidos con este modelo de simulación para 6 de los suelos estudiados se presentan en el Cuadro 1.

En general, los resultados obtenidos permitieron reducir la dosis de N a emplear en los suelos evaluados respecto de lo usado tradicionalmente por los agricultores, contribuyendo a reducir costos directos de producción, realizar un uso más eficiente del N, reducir la contaminación ambiental asociada a excesos de N y potenciar el rendimiento del cultivo.





**Figura 1.4.** Rendimiento de grano en arroz Zafiro-INIA temporada 2011-12. Letras distintas en las columnas de cada suelo indican diferencia estadística según test de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 1.5.** Rendimiento de grano en arroz Zafiro-INIA temporada 2012-13. Letras distintas en las columnas de cada suelo indican diferencia estadística según test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización alternativa en el cultivo de arroz

El uso de fertilizantes en el cultivo de arroz constituye uno de los costos directos de mayor importancia para este cultivo. Además, el uso de fertilizantes convencionales (químicos o de síntesis), en el largo plazo, reduce el contenido de materia orgánica (MO) del suelo, y aquellos nutrientes de alta dinámica como el nitrógeno (N), quedan expuestos a procesos de pérdida, dado que la sincronía de absorción por el cultivo no es afín a la rápida liberación de N de estos fertilizante. Por su parte, el uso de enmiendas orgánicas constituye una alternativa de fertilización de inferior costo, de aporte de MO y de la totalidad de nutrientes que requiere el



Componente del modelo de optimización	Suelo (orden taxonómico y serie)					
	Inceptisol1 Achibueno1	Inceptisol2 Achibueno2	Alfisol1 Parral 1	Alfisol2 Parral2	Vertisol1 Quella1	Vertisol2 Quella2
RG(Ton ha <sup>-1</sup> )	7	10	8	10	10	9
INA-Arroz(kg N Ton grano <sup>-1</sup> )	15.4	15.4	16.2	14.0	11.8	11.6
N absorbido (kg ha <sup>-1</sup> )	107.8	154.0	129.6	140.0	118.0	104.4
IRNN (kg N aplicado por kg N absorbido <sup>-1</sup> )	1.86	2.60	1.97	1.60	1.71	3.14
N mineralizado en 21 días a 20°C (mg kg <sup>-1</sup> )	51	9	102	67	47	30
N suministrado por el suelo en incubación por 21 días a 20°C (kg ha <sup>-1</sup> )	79	150	105	112	90	69
N mineralizado en 7 días a 40°C (mg kg <sup>-1</sup> )	61	13	101	40	43	56
N suministrado por el suelo en incubación por 7 días a 40°C (kg ha <sup>-1</sup> )	75	141	112	92	99	73
Dosis de N simulada para incubaciones por 21 días a 20°C (kg ha <sup>-1</sup> )	53	12	48	44	49	112
Dosis de N simulada para incubaciones por 7 días a 40°C (kg ha <sup>-1</sup> )	61	33	34	77	33	100

**Cuadro 1.1.** Simulación de la dosis de N a emplear de acuerdo al modelo de simulación propuesto y a los resultados de rendimiento de grano y N mineralizado.

RG; Rendimiento de grano (Toneladas grano ha-1)

INA-Arroz; Índice de N absorbido por el cultivo de arroz por unidad de rendimiento de grano (kg N por Ton grano-1)

IRNN; Índice de relación entre el N aplicado y el N absorbido por el cultivo de arroz (kg N aplicado por kg N absorbido-1) como efecto de la fertilización con N (el suministro de N del suelo sin adición de N como fertilizante es descontado de este índice).

cultivo, incluyendo aquellos como el fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y boro, que en la mayoría de los suelos arroceros de Chile no alcanzan el nivel de suficiencia para el cultivo. Por otra parte, la entrega del N contenido en las enmiendas orgánicas es más controlada en relación al uso de fertilizantes convencionales, pudiendo lograr un 70% de entrega en un periodo de 3 a 4 meses para los guanos de broiler y pavo, y un 40 a 50% de entrega en dicho periodo para los compost de guano de cerdo o pavo.

Para evaluar el efecto de uso de las 2 principales enmiendas orgánicas comercializadas en Chile (Guano de Broiler y Bioestabilizado (compost de guano de cerdo)) en las 2 principales variedades de arroz (Diamante-INIA y Zafiro-INIA), se realizó un experimento durante 2 temporadas consecutivas (2011-12 y 2012-13) en el campo experimental DIGUA de INIA, camino Parral a Cauquenes.

Los tratamientos de fertilización evaluados fueron los siguientes:

1. Control sin fertilización (C).
2. Fertilización convencional con dosis de 80 kg de N/ha parcializado  $\frac{1}{2}$  a la siembra y  $\frac{1}{2}$  a la macolla (FC1).
3. Fertilización convencional con dosis de 80 kg de N/ha parcializado  $\frac{1}{2}$  a la siembra y  $\frac{1}{2}$  al inicio de panícula (FC2).
4. C + N en macolla (40 kg/ha).
5. C + N en inicio de panícula (40 kg/ha).
6. Bioestabilizado (B) en presiembra en dosis equivalente a 80 kg de N/ha.
7. Guano broiler (GB) en presiembra en dosis equivalente a 80 kg de N/ha.
8. B en dosis equivalente a 40 kg de N/ha + N en macolla (40 kg/ha).
9. B en dosis equivalente a 40 kg de N/ha + N en inicio de panícula (40 kg/ha).
10. GB en dosis equivalente a 40 kg de N/ha + N en macolla (40 kg/ha).
11. GB en dosis equivalente a 40 kg de N/ha + N en inicio de panícula (40 kg/ha).

El diseño experimental fue Bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela principal fue el tratamiento de fertilización y la subparcela la variedad de arroz. Además se trabajó con 4 repeticiones por tratamiento.

El tamaño de cada unidad experimental de fertilización es de 15m<sup>2</sup> (3 m \* 5 m), de los cuales 7,5m<sup>2</sup> fueron ocupados por cada variedad de arroz. La superficie total sembrada en cada temporada fue 660m<sup>2</sup> en 44 unidades experimentales, separados por pretilas para evitar efecto de bordes en las aplicaciones de los tratamientos de fertilización.

Los parámetros evaluados fueron:

- Rendimiento de grano.
- Coeficiente de reparto de materia seca.
- Altura de plantas.
- Relación beneficio marginal/Costo marginal de la fertilización.

El Costo de fertilización de cada tratamiento (promedio de ambas temporadas) se presenta en el Cuadro 2.1.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes;

El rendimiento de grano para los tratamientos de fertilización en ambas temporadas se presenta en la figura 2.1 (a y b), y separado por variedades en la figura 2.2 (a y b). A su vez en el Cuadro 2.2 y 2.3 se presenta el análisis económico del experimento, considerando la relación beneficio marginal/costo marginal de la fertilización, de las temporadas 2011-12 y 2012-13, respectivamente.

Para la primera temporada el rendimiento de grano fluctuó entre 53 a 88 qq/ha, pero en los tratamientos fertilizados este rendimiento fluctuó entre 65 a 88 qq/ha (figura 2.1a). El mayor rendimiento de grano se obtuvo en todos los tratamientos que recibieron fertilización, independiente de la fuente (convencional o enmiendas orgánicas) (figura 2.1a). Sin embargo, sólo los tratamientos 2 (fertilización convencional parcializado en siembra y macolla), 3 (fertilización convencional parcializado en siembra e inicio de panícula), 7 (guano broiler en presiembra), 8 (bioestabilizado + N en macolla), 9 (bioestabilizado + N en inicio de panícula), 10 (guano broiler + N en macolla) y 11 (guano broiler + N en inicio de panícula) superaron al control sin fertilización ( $p < 0,05$ ).

Para la segunda temporada el rendimiento de grano fluctuó entre 60 a 84 qq/ha, pero en los tratamientos fertilizados este rendimiento fluctuó entre 62 a 84 qq/ha (figura 2.1b). El mayor rendimiento de grano se obtuvo en todos los tratamientos que recibieron fertilización, independiente de la fuente (convencional o enmiendas orgánicas) (figura 2.1b). Sin embargo, sólo los tratamientos 2 (fertilización convencional parcializado en siembra y macolla), 3 (fertilización convencional parcializado en siembra e inicio de panícula), 9 (bioestabilizado + N en inicio de panícula), y 11 (guano broiler + N en inicio de panícula) superaron al control sin fertilización ( $p < 0,05$ ).

La altura de plantas fue medida sólo en la primera temporada y fluctuó entre 70 y 84 cm. No se evidenció diferencia de altura entre los tratamientos fertilizados, independiente de la fuente de fertilización (convencional o enmienda orgánica). Los tratamientos que superaron en altura al control sin fertilización fueron 2 (fertilización convencional parcializado en siembra y macolla), 3 (fertilización convencional parcializado

Tratamiento	Dosis de Enmiendas o Fertilizantes (kg/ha)					Costo Fertilización (\$/ha)
	B	GB	Urea	SFT	Muriato	
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	178	141	130	\$173.344
3	0	0	178	141	130	\$173.344
4	0	0	89	0	0	\$61.833
5	0	0	89	0	0	\$61.833
6	3.316		0	0	0	\$96.318
7		3.162	0	0	0	\$86.911
8	1.658		89	0	0	\$124.992
9	1.658		89	0	0	\$124.992
10		1.581	89	0	0	\$120.289
11		1.581	89	0	0	\$120.289

**Cuadro 2.1.** Costos de fertilización promedio de temporadas 2011-12 y 2012-13.

B: Bioestabilizado;

GB: Guano Broiler;

SFT: Superfosfato Triple.

en siembra e inicio de panícula), 7 (guano broiler en presiembra), 9 (bioestabilizado + N en inicio de panícula), 10 (guano broiler + N en macolla) y 11 (guano broiler + N en inicio de panícula), similar a lo obtenido en el rendimiento de grano.

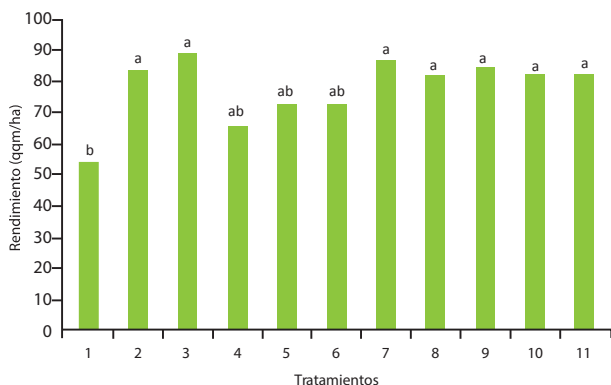
El índice de cosecha en la primera temporada fluctuó entre 0,51 y 0,57. Los tratamientos de fertilización aplicados no generaron diferencias en el índice de cosecha. Para la segunda temporada el índice de cosecha fluctuó entre 0,43 y 0,47, inferior a la temporada 2011-12. Hubo diferencias entre tratamientos de fertilización, y los mayores IC se obtuvieron con los tratamientos 1 (control sin fertilización), 2 (fertilización convencional parcializado en siembra y macolla), 6 (bioestabilizado), 9 (bioestabilizado + N en inicio de panícula) y 11 (guano broiler + N en inicio de panícula).

Respecto a las mediciones de estas mismos parámetros, separando el efecto entre variedades, para la primera temporada se obtuvo un rendimiento de grano e índice de cosecha similar entre las variedades Diamante-INIA y Zafiro-INIA (figura 2.2a), en tanto que la altura de plantas fue mayor en la variedad Diamante-INIA. Para la segunda temporada tampoco hubo diferencias de rendimiento entre las variedades evaluadas (figura 2.2b), en tanto que el índice de cosecha fue mayor en la variedad Zafiro-INIA.

El análisis económico en la primera temporada de evaluación indicó que la mejor relación beneficio marginal sobre costo marginal de la fertilización

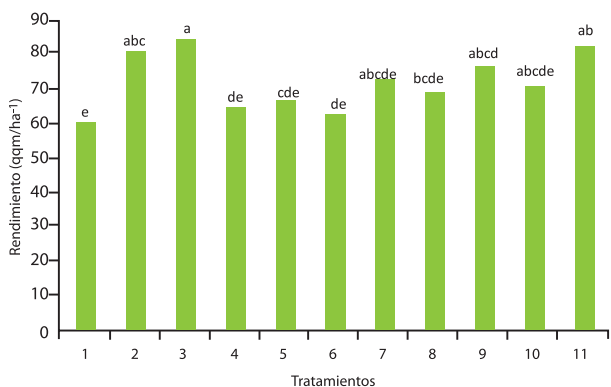
empleada (o también diferencial de ingreso neto derivado de la fertilización respecto del control sin fertilizar), se logró con los tratamientos 7 (guano broiler en presiembra), 5 (N en inicio de panícula en dosis de 40 kg/ha) y 9 (bioestabilizado + N en inicio de panícula) (Cuadro 2.2). Para la segunda temporada el análisis económico indicó que la mejor relación beneficio marginal sobre costo marginal de la fertilización empleada, se logró con los tratamientos 11 (guano broiler + N en inicio de panícula), 7 (guano broiler en presiembra), y 3 (fertilización convencional parcializado en siembra e inicio de panícula) (Cuadro 2.3). El tratamiento que generó el mayor diferencial de ingreso marginal versus costo marginal para la primera temporada (Cuadro 2.2) fue el uso de Guano Broiler en presiembra (80 kg N/ha) con un diferencial de \$449.932/ha, en tanto que para la segunda temporada (Cuadro 2.3) fue el uso de Guano broiler en presiembra (40 kg N/ha) + 40 kg de N/ha aplicado en Inicio de Panícula, lo cual generó un diferencial de \$240.803/ha. En ambas temporadas el uso de Guano Broiler, ya sea sólo o en combinación con N convencional aplicado al inicio de panícula, generó un diferencial de ingreso neto mayor al uso de fertilizantes convencionales.

En conclusión, el uso de enmiendas orgánicas como fuente alternativa de fertilización en el cultivo de arroz permite lograr rendimientos similares a los obtenidos con el uso de fertilizantes convencionales, con una relación beneficio/costo más favorable al cultivo, donde destaca el uso de guano broiler.



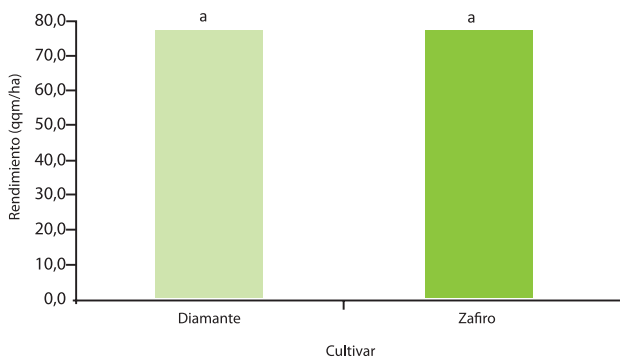
**Figura 2.1a.** Rendimiento de grano en el cultivo de arroz frente a diferentes tratamientos de fertilización que incluyen fertilizantes convencionales y enmiendas orgánicas. Los valores corresponden a las medias de las variedades Diamante-INIA y Zafiro-INIA. Estación Digua, Parral 2011-2012.

Letras distintas sobre las barras indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ( $p < 0,05$ ).



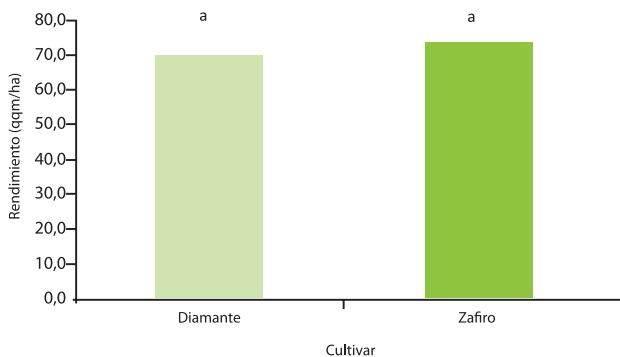
**Figura 2.1b.** Rendimiento de grano en el cultivo de arroz frente a diferentes tratamientos de fertilización que incluyen fertilizantes convencionales y enmiendas orgánicas. Los valores corresponden a las medias de las variedades Diamante-INIA y Zafiro-INIA. Estación Digua, Parral 2012-2013.

Letras distintas sobre las barras indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 2.2a.** Rendimiento de grano en los cultivares de arroz Diamante-INIA y Zafiro-INIA como promedio de diferentes tratamientos de fertilización que incluyen fertilizantes convencionales y enmiendas orgánicas. Estación Digua, Parral 2011-2012.

Letras distintas sobre las barras indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 2.2b.** Rendimiento de grano en los cultivares de arroz Diamante-INIA y Zafiro-INIA como promedio de diferentes tratamientos de fertilización que incluyen fertilizantes convencionales y enmiendas orgánicas. Estación Digua, Parral 2012-2013.

Letras distintas sobre las barras indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Cuadro 2.2.** Análisis económico de las estrategias de fertilización empleadas en el experimento. Temporada 2011-2012.

Tratamiento	Costo Fertilización (\$/ha)	Rendimiento de Grano (qq/ha)	Ingreso Bruto (\$/ha)	Ingreso Marginal (\$/ha)	Costo Marginal (\$/ha)	Relación Beneficio Marginal/Costo Marginal
1	0	53,0	882.138	-	-	-
2	173.344	82,6	1.363.606	481.468	173.344	2,8
3	173.344	87,8	1.449.142	567.004	173.344	3,3
4	61.833	65,0	1.071.904	189.766	61.833	3,1
5	61.833	72,0	1.187.812	305.674	61.833	4,9
6	96.318	71,9	1.187.025	304.887	96.318	3,2
7	86.911	86,0	1.418.981	536.843	86.911	6,2
8	124.992	81,0	1.336.395	454.257	124.992	3,6
9	124.992	83,8	1.382.266	500.129	124.992	4,0
10	120.289	81,2	1.339.890	457.752	120.289	3,8
11	120.289	81,1	1.338.610	456.472	120.289	3,8

*Nota: El valor del quintal de arroz utilizado para el cálculo fue \$16.500. El valor de los fertilizantes y enmiendas se determinó a precios de mercado del mes de octubre como promedio del año 2011 y 2012 puesto en predio y aplicado.*

**Cuadro 2.3.** Análisis económico de las estrategias de fertilización empleadas en el experimento. Temporada 2012-2013.

Tratamiento	Costo Fertilización (\$/ha)	Rendimiento de Grano (qq/ha)	Ingreso Bruto (\$/ha)	Ingreso Marginal (\$/ha)	Costo Marginal (\$/ha)	Relación Beneficio Marginal/Costo Marginal
1	0	60,0	987.835	-	-	-
2	173.344	80,5	1.327.467	339.632	173.344	2,0
3	173.344	84,0	1.386.148	398.313	173.344	2,3
4	61.833	64,3	1.060.837	73.001	61.833	1,2
5	61.833	66,3	1.093.954	106.119	61.833	1,7
6	96.318	62,3	1.027.685	39.849	96.318	0,4
7	86.911	72,5	1.196.910	209.074	86.911	2,4
8	124.992	68,6	1.131.345	143.509	124.992	1,1
9	124.992	76,1	1.255.613	267.778	124.992	2,1
10	120.289	70,5	1.163.324	175.489	120.289	1,5
11	120.289	81,8	1.348.928	361.092	120.289	3,0

*Nota: El valor del quintal de arroz utilizado para el cálculo fue \$16.500. El valor de los fertilizantes y enmiendas se determinó a precios de mercado del mes de octubre como promedio del año 2011 y 2012 puesto en predio y aplicado.*