



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
PROGRAMA DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGRICULTURA
TROPICAL SOSTENIBLE**

**TESIS DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS**

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA NUTRICIONAL Y DETERMINACIÓN DE
DOSIS ÓPTIMAS DE N, P, K EN ARROZ (*Oryza sativa* L.) BAJO RIEGO.**

MARTHA CECILIA MORA GUTIÉRREZ

2007



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA
PRODUCCIÓN

PROGRAMA DE EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN EN
AGRICULTURA TROPICAL SOSTENIBLE

Rectores:

Dr. M. Sc. Carlos Cedeño Navarrete U. G.

Dr. Moisés Tacle Galárraga ESPOL

Decanos:

Ing. José Cuenca Vargas Facultad CCNN-U. G.

M. Sc. Eduardo Ribadeneira Pazmiño FIMCP-ESPOL

Coordinador de Maestría:

Dr. Wilson Pozo Guerrero

Directora Académica:

Ing. Agr. PhD. Carmen Triviño G.

Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del contenido de la presente obra, en cualquier forma, sea electrónica o mecánica, sin el consentimiento previo del autor.



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE POSTGRADO

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGRICULTURA TROPICAL SOSTENIBLE

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA NUTRICIONAL Y DETERMINACIÓN DE DOSIS
ÓPTIMAS DE N, P, K EN ARROZ (*Oryza sativa* L.) BAJO RIEGO

POR
MARTHA CECILIA MORA GUTIÉRREZ

Esta tesis fue aceptada en su presente forma por el Comité Consejero y el Consejo Asesor del Programa Internacional de Educación e Investigación en Agricultura Tropical Sostenible de la Universidad de Guayaquil, como requisito parcial para optar al grado de:

Magíster en Ciencias
Con énfasis en Agricultura Tropical Sostenible

COMITÉ CONSEJERO

Ing. Eison Valdiviezo MSc.

Dra. Gloria Carrera MSc.

CONSEJO ASESOR

Dra. Carmen Triviño (Ph.D.)

Dr. Wilson Pozo (Ph.D. Candidato)

GUAYAQUIL – ECUADOR

2007

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre Rosario Gutiérrez Lozada con toda mi veneración, quien me legó la más grande herencia que es mi formación profesional.

A mis hermanos: Mercedes, Fanny y Alberto.

A mis hermanos políticos: Agustín y Aurora.

A mi esposo: Miguel

A mis hijos: Lolita, Ma. Alexandra y Miguelito.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento infinito a DIOS quien me guía y me ayuda a cumplir las metas que me he propuesto.

La autora hace ostensible sus sinceros agradecimientos y justa gratitud a las siguientes instituciones y personas:

A la Universidad de Guayaquil, Dirección de Postgrado de la Facultad de Ciencias Naturales.

Al Ing. Agr. Eison Valdiviezo MSc., Director de Tesis, por su apoyo incondicional, experiencia, amplia formación profesional y acertada orientación.

Al Dr. Wilson Pozo, Coordinador de la maestría, quien siempre estuvo pendiente en solucionar los problemas de los maestrantes.

A la Dra. Gloria Carrera, Codirectora de Tesis, por su aporte intelectual y sugerencias realizadas en el desarrollo del trabajo.

A la Dra. Carmen Triviño Ph. D., quien supo orientarme en el desarrollo del presente trabajo.

A la Ing. Agr. Carola Procel Loo por su ayuda invaluable en el desarrollo y ejecución de la investigación.

Al Ing. Agr. Francisco Andrade MSc., Líder del Programa del Arroz de INIAP Boliche por su colaboración.

A la Ing. Civ. Montserrat Gutiérrez dueña del predio donde se realizó el experimento.

A la señora Miriam Vargas, secretaria de la maestría por su amabilidad y ayuda.

BIOGRAFÍA

Martha Cecilia Mora Gutiérrez, hija de José Mora Sánchez y Rosario Gutiérrez Lozada, tercera de cuatro hijos. Nació en Ambato, Provincia del Tungurahua, el 9 de Febrero de 1953.

La educación primaria la realizó en la Escuela Municipal Eugenia Mera de la ciudad de Ambato, la educación secundaria en el Colegio Nacional Ambato de la ciudad del mismo nombre.

Los estudios universitarios los realizó en la ciudad de Guayaquil, Provincia del Guayas, en la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas, donde se recibió de Química Farmacéutica en el año de 1979. Durante sus estudios universitarios realizó cursos y seminarios en el ámbito farmacéutico y químico, trabajó como Ayudante de Laboratorio de control de calidad de Industrias Lácteas INDULAC.

Como profesional, se desempeñó como Ayudante de Cátedra en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad de Guayaquil, hasta 1981

Se inició desde 1980 como profesora de Química teórica – práctica en el Colegio Católico San Agustín de la ciudad de Guayaquil hasta enero de 1982.

A partir del año 1987 se desempeña como catedrática en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Guayaquil en las asignaturas de Química General en primer año e Industrias Agropecuarias en quinto año.

En 1998 es nombrada Directora del Centro de Computo "Ing. Agr. Víctor Villao Rosales" de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Guayaquil.

Realizo Cursos y Seminarios de Actualización Pedagógica, Química General, Química de suelos, Tecnología de Alimentos.

En 1997 obtuvo el título académico de Diplomado en Docencia Superior a nivel de postgrado dictado en la Universidad de Guayaquil por el Instituto Superior Pedagógico para la Educación Técnica y Profesional "Héctor A. Pineda Zaldívar" de la República de Cuba.

En la actualidad se encuentra culminando la presente Tesis de Grado para incorporarse como Master en Ciencias con énfasis en Agricultura Tropical Sostenible.

ÍNDICE DE TEXTO

Contenido	Pág.
PORTADA	i
RESPONSABILIDAD	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
BIOGRAFÍA	v
ÍNDICE DE TEXTO	vi
ÍNDICE DE CUADROS DE TEXTO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS DE TEXTO	viii
ÍNDICE DE CUADROS DE ANEXOS	ix
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Taxonomía del arroz	3
2.2. Características de la variedad	3
2.3. Fertilizantes	4
2.4. Ganancias y pérdidas de nitrógeno	5
2.5. Eficiencia nutricional	5
2.6. Nitrógeno (N)	8
2.7. Deficiencia y Exceso de (N)	8
2.8. Fósforo (P)	9
2.9. Deficiencia y Exceso de (P)	10
2.10. Potasio (K)	11
2.11. Deficiencia y Exceso (K)	11
2.12. Requerimientos Nutricionales del cultivo de arroz	12
2.13. Recomendaciones de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O para el cultivo de arroz	12
2.14. Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización	13
2.15. Concentraciones de nutrimentos en los tejidos	13
2.16. Análisis de suelos	14
2.17. Parámetros para interpretación de análisis de suelos	14
2.18. Determinación de las dosis óptimas de N, P ₂ O ₅ , K ₂ O y las relaciones nutricionales límites en Suelos y Foliar	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Localización	16
3.2. Características edafológicas y de fertilidad de los suelos	16
3.3. Equipos y Materiales	16
3.3.1. Materiales de laboratorio	16
3.3.2. Materiales de campo	17
3.4. Experimentos utilizados en el estudio de dosis óptimas con N, P ₂ O ₅ y K ₂ O	18
3.4.1. Factores estudiados	18
3.4.2. Diseño de tratamientos	18
3.4.3. Diseño experimental	19
3.5. Experimentos utilizados en el estudio de la eficiencia de fertilización con N, P ₂ O ₅ , K ₂ O	19
3.6. Manejo de los experimentos	19
3.6.1. Semillero	19
3.6.2. Preparación de suelos	20
3.6.3. Transplante	20
3.6.4. Control de malezas	20
3.6.5. Fertilización	20
3.6.6. Riego	20
3.6.7. Control fitosanitario	21
3.6.8. Cosecha	21
3.7. Métodos	21
3.7.1. Determinaciones agronómicas y rendimiento	21
3.7.1.1. Altura de planta	21
3.7.1.2. Número de macollos/m ²	21
3.7.1.3. Número de panículas/m ²	21

3.7.1.4. Longitud de panícula	22
3.7.1.5. Granos/panícula	22
3.7.1.6. Porcentaje de granos vanos/panícula	22
3.7.1.7. Peso de 1000 semillas	22
3.7.1.8. Rendimiento	22
3.8. Muestreo de suelos, tejidos vegetales y preparación de las muestras	23
3.8.1. Muestreo de Suelo	23
3.8.2. Muestreo de tejidos vegetales	23
3.8.3. Preparación de las muestras	23
3.9. Metodología para análisis de suelo y foliar	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1. Experimento con niveles crecientes de Nitrógeno	25
4.1.1. Altura de planta	25
4.1.2. Número de macollos / m ²	25
4.1.3. Número de panículas / m ²	26
4.1.4. Longitud de panículas	26
4.1.5. Granos / panícula	26
4.1.6. Porcentaje de granos vanos / panícula	26
4.1.7. Peso de 1000 semillas	27
4.1.8. Rendimiento	27
4.1.9. Análisis de presupuesto parcial	30
4.2. Experimento con niveles crecientes de Fósforo	32
4.2.1. Altura de planta	32
4.2.2. Número de macollos / m ²	32
4.2.3. Número de panículas / m ²	33
4.2.4. Longitud de panícula	33
4.2.5. Granos / panícula	33
4.2.6. Porcentaje de granos vanos / panícula	34
4.2.7. Peso de 1000 semillas	34
4.2.8. Rendimiento	34
4.3. Experimento con niveles crecientes de potasio	35
4.3.1. Altura de planta	35
4.3.2. Número de macollos / m ²	35
4.3.3. Número de panículas / m ²	35
4.3.4. Longitud de panícula	35
4.3.5. Granos / panícula	35
4.3.6. Porcentaje de granos vanos / panícula	36
4.3.7. Peso de 1000 semillas	36
4.3.8. Rendimiento	36
4.4. Experimentos de eficiencia con varias fuentes de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O	37
4.4.1. Experimentos con urea y sulfato de amonio	37
4.4.2. Experimentos con superfosfato triple y fosfato diamónico	39
4.4.3. Experimentos con cloruro y sulfato de potasio	41
4.4.4. Eficiencias	43
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
5.1. Conclusiones	45
5.2. Recomendaciones	45
6. BIBLIOGRAFÍA	47
7. ANEXOS	51

ÍNDICE DE CUADROS DE TEXTO

	Pág.
Cuadro 1. Características de la variedad de arroz INIAP 14.	3
Cuadro 2. Análisis de presupuesto parcial del experimento sobre dosis crecientes de nitrógeno en arroz. Nobol, 2006.	31
Cuadro 3. Análisis de dominancia del experimento sobre dosis crecientes de nitrógeno en arroz. Nobol, 2006.	31
Cuadro 4. Análisis marginal del experimento sobre dosis crecientes de nitrógeno en arroz. Nobol, 2006.	32
Cuadro 5. Eficiencia agronómica y de recuperación de N mediante la utilización de dos fuentes fertilizantes. Nobol, 2006.	44

ÍNDICE DE FIGURAS DE TEXTO

	Pág.
Figura 1. Efecto de dosis creciente de nitrógeno en la variable altura de planta. Nobol, 2006.	25
Figura 2. Efecto de dosis creciente de nitrógeno en la variable longitud de panícula. Nobol, 2006.	27
Figura 3. Efecto de dosis creciente de nitrógeno en la variable peso de mil semillas. Nobol, 2006.	28
Figura 4. Efecto de dosis creciente de nitrógeno con la variable rendimiento, Nobol, 2006.	29
Figura 5. Efecto de la aplicación de niveles crecientes de nitrógeno sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.	29
Figura 6. Concentración de nitrógeno en el tejido (hojas) y su relación con las dosis crecientes de éste elemento aplicado al suelo. Nobol, 2006.	30
Figura 7. Efecto de dosis creciente de fósforo en la variable altura de planta, Nobol 2006.	33
Figura 8. Efecto de la aplicación de niveles crecientes de fósforo sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.	34
Figura 9. Efecto de la aplicación de niveles crecientes de potasio sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.	36
Figura 10. Efecto de la aplicación de dos fuentes de nitrógeno sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.	38
Figura 11. Efecto de la aplicación de dos fuentes de nitrógeno sobre la concentración de este en las hojas de arroz. Nobol, 2006.	38
Figura 12. Efecto de la aplicación de dos fuentes de nitrógeno sobre la cantidad de nitrógeno absorbido por la paja y grano de arroz. Nobol, 2006.	39
Figura 13. Efecto de la aplicación de dos fuentes de fósforo sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.	40
Figura 14. Efecto de la aplicación de dos fuentes de fósforo sobre la concentración de este en las hojas de arroz. Nobol, 2006.	40
Figura 15. Efecto de la aplicación de dos fuentes de fósforo sobre la cantidad de fósforo absorbido por la paja y grano de arroz. Nobol, 2006.	41
Figura 16. Efecto de la aplicación de dos fuentes de potasio sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.	42
Figura 17. Efecto de la aplicación de dos fuentes de potasio sobre la concentración de este en las hojas de arroz. Nobol, 2006.	42
Figura 18. Efecto de la aplicación de dos fuentes de potasio sobre la cantidad de potasio absorbido por la paja y grano de arroz. Nobol, 2006.	43

ÍNDICE DE CUADROS DE ANEXOS

		Pág.
Cuadro 1A.	Análisis de la varianza de la variable altura de planta obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	52
Cuadro 2A.	Análisis de la varianza de la variable número de macollos/m ² obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	52
Cuadro 3A.	Análisis de la varianza de la variable número de panículas/m ² obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	52
Cuadro 4A.	Análisis de la varianza de la variable longitud de panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	53
Cuadro 5A.	Análisis de la varianza de la variable granos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	53
Cuadro 6A.	Análisis de la varianza de la variable porcentaje de granos vanos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	53
Cuadro 7A.	Análisis de la varianza de la variable peso de mil semillas obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	54
Cuadro 8A.	Análisis de la varianza de la variable rendimiento (kg/ha) obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	54
Cuadro 9A.	Análisis de la varianza de la variable altura de planta obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	54
Cuadro 10A.	Análisis de la varianza de la variable número de macollos/m ² obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	55
Cuadro 11A.	Análisis de la varianza del variable número de panículas/m ² obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas 2006.	55
Cuadro 12A.	Análisis de la varianza de la variable longitud de panículas obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	55
Cuadro 13A.	Análisis de la varianza de la variable granos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas 2006.	56
Cuadro 14A.	Análisis de la varianza de la variable porcentaje de granos vanos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	56
Cuadro 15A.	Análisis de la varianza de la variable peso de mil semillas obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	56
Cuadro 16A.	Análisis de la varianza de la variable rendimiento (kg/ha) obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	57
Cuadro 17A.	Análisis de la varianza de la variable altura de planta obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	57
Cuadro 18A.	Análisis de la varianza de la variable número de macollos por m ² obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	57

Continuación del índice de Cuadros de Anexos

	Pág.
Quadro 19A. Análisis de la varianza del variable número de panículas/m ² obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	58
Quadro 20A. Análisis de la varianza de la variable longitud de panículas (cm) obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas, 2006	58
Quadro 21A. Análisis de la varianza de la variable granos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	58
Quadro 22A. Análisis de la varianza de la variable porcentaje de granos vanos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	59
Quadro 23A. Análisis de la varianza del variable peso de mil semillas (g) obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	59
Quadro 24A. Análisis de la varianza de la variable rendimiento (kg/Ha) obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas, 2006.	59
Quadro 25A. Análisis de la varianza de la variable rendimiento en kg/ha del experimento con fuentes de nitrógeno bajo riego". Guayas, 2006.	60
Quadro 26A. Análisis de la varianza de la variable rendimiento en kg/ha del experimento con fuentes de fósforo en arroz bajo riego". Guayas, 2006.	60
Quadro 27A. Análisis de la varianza de la variable rendimiento en kg/ha del experimento con fuentes de potasio en arroz bajo riego". Guayas, 2006.	60
Quadro 28A. Resumen de la significancia estadística y variabilidad de algunas características agronómicas y rendimiento obtenida en el experimento sobre dosis crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego.	61
Quadro 29A. Resumen de la significancia estadística y variabilidad de algunas características agronómicas y rendimiento obtenida en el experimento sobre dosis crecientes de fósforo en arroz bajo riego.	61
Quadro 30A. Resumen de la significancia estadística y variabilidad de algunas características agronómicas y rendimiento obtenida en el experimento sobre dosis crecientes de potasio en arroz bajo riego.	61
Quadro 31A. Reporte de análisis físico-químico de suelos del sitio experimental. Nobol, 2006.	62
Quadro 32A. Determinación de salinidad de extracto de pasta de suelos. Nobol, 2006.	62
Quadro 33A. Determinación de capacidad de intercambio catiónico. Nobol, 2006.	62
Quadro 34A. Resultados del análisis foliar de los diferentes tratamientos estudiados en tres experimentos con dosis crecientes de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O. Nobol, 2006.	63
Quadro 35A. Peso seco de grano y paja y análisis foliar de macro-elementos del experimento sobre eficiencias. Nobol, 2006.	64

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS DE ANEXOS

		Pág.
Foto 1A.	A) Preparación del semillero (INIAP – 14), se adicionó ceniza de tamo de arroz sobre terreno fangueado bien nivelado. B) Se colocó la semilla y luego fue cubierta por otra capa fina de ceniza. C) plántulas de 7 días de edad después de la siembra. D) Semillero o almacigo de 14 días después de la siembra. Fotos de Dra. Martha Mora G.	65
Foto 2A.	A) Maquina fangueadora, después de esa labor se procedió a medir el terreno para limitar el área de trabajo. B) Se construyeron muros para el manejo del agua y se procedió a nivelar el suelo con una tabla. Fotos de Dra. Martha Mora G.	65
Foto 3A.	A) Efectuando labor de transplante, se colocaron tres plántulas a distancias de 25 x 25 cm. B) Terreno transplantado. Fotos de Dra. Martha Mora G.	66
Foto 4A.	A) Fertilización del cultivo se realizó la primera a los 10 días de transplante, y la segunda aplicación a los 15 días después de la primera. B) Cultivo de 24 días de edad. Fotos de Dra. Martha Mora G.	66
Foto 5A.	A) Parcelas demostrativas del cultivo de arroz con 75 días de edad. B) Floración del cultivo (92 días). Fotos de Dra. Martha Mora G.	66
Foto 6A.	A) Etapa de llenado de grano, 98 días de edad del cultivo. B) Cultivo con 107 días de edad (maduración del grano). Fotos de Dra. Martha Mora G.	67
Foto 7A.	A) Cosecha de arroz (17 de noviembre del 2006). B) Corte de la variedad INIAP – 14 y recolección de muestras. Fotos de Dra. Martha Mora G.	67

RESUMEN

Este estudio se efectuó durante los meses de julio a noviembre del 2006 en la localidad Nobol provincia del Guayas y tuvo como objetivos: 1) Determinar la eficiencia agronómica y de recuperación de N; 2) Dosis óptima económica y dosis óptima fisiológica con aplicaciones de N, P y K; y 3) Determinar la eficiencia de los fertilizantes urea y sulfato de amonio en cultivo de arroz. Para cumplir con el primer y tercer objetivo se efectuaron parcelas grandes a las que se le aplicaron los tratamientos, se probó diversas fuentes de N (urea y sulfato de amonio) en dosis de 120 kgN/ha, P_2O_5 (superfosfato triple y DAP) en dosis de 60 kg/ha, K_2O (cloruro de potasio y sulfato de potasio) con una dosis de 80 kg/ha de K_2O . Para las dosis óptimas de N, P y K se efectuaron 3 experimentos con dosis crecientes de N (0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg/ha), P_2O_5 (0, 20, 40, 60, 80 y 100 kg/ha) y K_2O (0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg/ha).

En el experimento con niveles crecientes de Nitrógeno se encontró rendimientos de arroz paddy similares cuando se utilizó la dosis de 160 a 200 kgN/ha y el análisis económico reveló la mejor Tasa de Retorno Marginal con el nivel de 200 kgN/ha. La respuesta del cultivo fue lineal, es decir, con posibilidades de mayor rendimiento a mayores niveles de fertilización nitrogenada.

No hubo respuesta con los experimentos de dosis crecientes con P y K, debido a que son trabajos cuyos efectos se los puede medir a largo plazo.

En los experimentos para medir eficiencia al comparar el fertilizante urea con sulfato de amonio fueron iguales estadísticamente, sin embargo se pudo observar una eficiencia agronómica de 35 y 38 kg/kg para urea y sulfato de amonio, en su orden y una eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado de 57 y 78% para urea y sulfato de amonio, respectivamente. Siendo el fertilizante sulfato de amonio la fuente más eficiente de N bajo las condiciones que se llevó el experimento. En los experimentos para medir la eficiencia de P (superfosfato triple y DAP) y K (cloruro de potasio y sulfato de potasio) no fue posible medir ningún tipo de eficiencia debido a la baja respuesta del arroz a estos elementos.

La dosis de 120 kgN/ha que normalmente se venían recomendando en los planes de fertilización en el cultivo de arroz en función a estudios efectuados en los años 80 resultan ser hoy en día obsoletos, por lo que estudios posteriores deben apuntar a mejorar la eficiencia de los fertilizantes especialmente nitrogenados mediante revestimientos de estos con aditivos orgánicos que sería lo más conveniente en virtud del contenido de materia orgánica de los suelos que es baja en las zonas arroceras.

SUMMARY

The study was done since July to November of 2006 in the location of Nobol, province of Guayas and it had as objectives: 1) To determinate the agronomic and recovering efficiency of N; 2) The optimum economic and physiologic dose with applications of N, P and K; and 3) To determinate the efficiency of fertilizers urea and ammonium sulphate in cultivation of rice To accomplish with the first and third objective; large plots were made to the ones that the treatments were applied, different sources of N were tried (urea and sulphate of ammonium) in dose of 120 kgN/ha, P_2O_5 (triple superphosphate and DAP) in dose of 60 kg/ha, K_2O (chloride of potassium and sulphate of potassium) To the optimum dose of N, P and K three experiments were made with increasing dose of N (0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg/ha), P_2O_5 (0, 30, 40, 60, 80, 100 kg/ha) and K_2O (0, 40, 80, 120, 160, 200 kg/ha).

In the experiment with increasing levels of nitrogen there were found similar paddy rice performances when the dose of 160 to 200 kgN/ha were used and the economic analysis revealed the best rate of Marginal Return with the level of 200 kgN/ha. The response of the cultivation was lineal, which means, with possibilities of better performance with higher levels of nitrogenous fertilization.

There was no response with the experiments of increasing dosage with P and K, because there are works whose effects can be measured in long term.

In the experiments to measure the efficiency the comparison of the fertilizer urea with sulphate of ammonium were statistically equal, however we could observe an agronomic efficiency of 28 and 38 kg/kg to urea and sulphate of ammonium , in that order and an efficiency of recovery of the nitrogenous fertilizer of 57 and 78 % to urea and sulphate of ammonium respectively; being the fertilizer sulphate of ammonium the most efficient source of N under the conditions that the experiment was carried. In the experiments to measure the efficiency of P (triple superphosphate and DAP) and K (chloride of potassium and sulphate of potassium) there was not able to measure any kind of efficiency owed to the downward response of the rice to these elements.

The dose of 120 kgN/ha that normally came recommending in the plans of fertilization in the fields of rice in function to studies made in the 80's they turn out to be obsolete nowadays, for which subsequent studies should aim at to improve the efficiency of the fertilizers specially nitrogenous ones by means of the covering of these with organic additives that would be the most convenient in virtue of the content of organic matter of the soils that is drop in the rice zones.

1. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el principal alimento de la población ecuatoriana. En el 2005 se cosecharon 421.548 ha con un rendimiento promedio de 3,9 ton/ha¹. El 80% del área sembrada se encuentra en las provincias del Guayas y Los Ríos. El 60% de la superficie es sembrada bajo condiciones de riego y el 40% de secano. El consumo por persona por año es de 43 kg de arroz blanco (Andrade, 1998).

Por muchas las causas a las que se le atribuyen a la baja productividad del cultivo de arroz en el país, uno de ellos es la nutrición y fertilización del cultivo. No todos los cultivos de arroz tienen una misma respuesta a la fertilización con N, P y K, por lo que es importante efectuar estudios sobre dosis óptimas de cada uno de estos elementos.

Hay pocos los estudios actuales que existen sobre dosis óptimas de fertilización con los elementos esenciales nitrógeno (N) fósforo (P) y potasio (K) en este cultivo. Trabajos efectuados por el INIAP (2005) solo dan a conocer dosis muy generales de estos elementos en función de la fertilidad del suelo.

Por otra parte, tampoco existen estudios de eficiencia de las diversas fuentes fertilizantes que estén validadas para nuestras condiciones, en forma general se dice que la eficiencia del nitrógeno (N) y potasio (K) es de 60% y del fósforo (P) de 20%, sin embargo son parámetros muy generales para ser utilizados en la generación de recomendaciones a partir de la fórmula de balance, por lo que se hace necesario tener medida la eficiencia de las principales fuentes de N, P y K.

El diagnóstico moderno de los problemas nutricionales de los cultivos utiliza el análisis de suelo y foliar en la identificación o confirmación de síntomas visuales. En otras palabras la eficiencia del diagnóstico depende de los resultados dados por el analista o químico que realice dicho análisis, los métodos, las técnicas y el equilibrio que utilice para poder dar una información precisa y confiable de la cantidad óptima o ideal y su relación con la planta ya que se puede estar utilizando una fertilización deficiente o excesiva sin aprovechar el potencial de producción. Tomando en cuenta que las dosis

¹ Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

Las fertilizantes deben estar relacionadas a las condiciones ambientales y de suelos de las diferentes zonas, disminuyendo los costos y aumentando la productividad.

Los fines que han despertado el interés para realizar este trabajo están relacionados con los siguientes objetivos:

Objetivo General:

Determinar la eficiencia nutricional y dosis óptimas de N, P, K en suelos y tejido vegetal para el cultivo de arroz.

Objetivos Específicos:

- Determinar la eficiencia agronómica y de recuperación con N utilizando urea y sulfato de amonio.
- Determinar la eficiencia de recuperación de P_2O_5 utilizando como fuentes superfosfato triple y fosfato diamónico.
- Determinar la eficiencia de recuperación de K_2O utilizando como fuentes cloruro de potasio y sulfato de potasio.
- Determinar la dosis óptima económica y dosis óptima fisiológica con aplicaciones de N, P_2O_5 y K_2O .

Resumen

Se establecerán dosis óptimas económicas y fisiológicas de N, P_2O_5 , K_2O y la eficiencia de los fertilizantes urea, sulfato de amonio, superfosfato triple, fosfato diamónico, cloruro de potasio y sulfato de potasio en cultivo de arroz.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Taxonomía del arroz

Según Andrade (1998), el arroz es una Fanerógama, tipo espermatofita, subtipo angiosperma.

Clase: Monocotiledónea

Orden: Glumiflora

Familia: Gramínea

Subfamilia: Panicoideas

Tribu: Oryzae

Subtribu: Oryzineas

Genero: Oryza

2.2. Características de la variedad de arroz

En el Cuadro 1 se presenta en forma resumida las características de la variedad de arroz INIAP 14.

Cuadro 1. Características de la variedad de arroz INIAP 14.

Características		Características (continuación)	
Fitación (días)	86	Desgrane	Intermedio
Día vegetativo (días)	117	Long. grano descascarado	7.27
Alura de planta (cm)	113	Ancho del grano	2.33
Longitud de panícula (cm)	27.5	Forma del grano	alargado
Paniculas/m ²	301	Centro blanco	mediano
Granos/panícula	131.5	Índice de pilada	64.72
Eficiencia (%)	11.5	Pudrición de vaina (%)	1 - 5
Peso de 1000 semillas	28.95	Manchado de grano (%)	1 - 5
Rendimiento (kg/ha)	6942	Falso carbón (%)	1 - 5
Vigor vegetativo	Muy vigoroso	Hoja blanca (%)	Menos de 1
Exposición de panícula	Buena		

Fuente: Programa de Arroz INIAP EE. Boliche.

2.1 Fertilizantes

La urea [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] es la carbamida (la diamida del ácido carbónico). Este fertilizante tiene un contenido de 46% de N es un compuesto orgánico blanco, de bajo peso específico (solamente 0,7 kg/l), muy soluble en agua (1 kg/l a 20°C), un abono en la mayoría de los casos granulado (1-2 mm), soluble y estabilizado por la adición de tierra de infusorios (Fink, 1988).

El sulfato amónico [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] contiene 20.5% de nitrógeno y 24,2% de azufre. Es una de las fuentes químicas más antiguas de nitrógeno amoniacal, habiendo sido fabricado primeramente en los Estados Unidos como un producto de la conversión del carbón de coque. Tiene buenas cualidades de manejo y almacenamiento y también es una buena fuente de azufre para los suelos deficientes de este elemento (Tisdale y Nelson, 1991).

Cloruro de potasio (CLK) contiene de 50 a 52% de K (60 a 63% de K_2O) y en varios colores de rosado o rojo café o blanco dependiendo del grado de pureza en el proceso usado. Este fertilizante es uno de los más populares en el mercado para ser aplicado incorporado directamente en el suelo (Havling *et al.*, 1999).

Sulfato de potasio (K_2SO_4), es un material sólido blanco contiene de 42 a 44% de K (51 a 53% K_2O) y 17% de azufre. Este es producido por diferentes procesos. Algunos de los cuales están involucrados con reacciones de otras sales con CLK y algunos de los cuales involucran reacciones con el S H_2SO_4 (Havling *et al.*, 1999).

Superfosfato triple [$3\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$] tiene un alto contenido de fósforo (45% de P_2O_5), es indispensable para una multitud de funciones fisiológicas de la planta, favorece la maduración de flores y frutos, y fomenta su perfume y dulzor. (www.sodimac.com, 2007).

Fosfato diamónico [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$] es un fertilizante conocido por sus excelentes condiciones de solubilidad en agua a las concentraciones recomendadas para fertilización líquida al suelo y foliar. Puede ser aplicado a través de todos los tipos de sistemas de riego (www.sodimac.com, 2007).

2.4. Ganancias y pérdidas de nitrógeno

La disponibilidad del nitrógeno presente en los suelos inundados depende de procesos como la mineralización de la materia orgánica (Hidrólisis de proteínas a polipéptidos y aminoácidos con consecuente desaminización que resulta en la formación de NH_4^+); la fijación atmosférica de nitrógeno por algas y bacterias heterótrofas (en las cavidades de la azolla o helecho de agua (Salvinaceae) se alberga una alga cianoficeo llamada *Wolffia*, siendo el alga quien capta el nitrógeno atmosférico y lo fija en tasas hasta de 25 kg de N/ha); la lluvia fija entre 5 y 14 kg de N/ha; y por último la adición de fertilizantes nitrogenados (Yoshida, 1981).

2.5. Eficiencia nutricional

En los cultivos de grano, la eficiencia de la fertilización nitrogenada depende de muchos factores vinculados al suelo, a las condiciones climáticas y al manejo del cultivo. Todos estos aspectos son especialmente importantes en el arroz donde se pierde más de la mitad del fertilizante nitrogenado aplicado, pues el cultivo se desarrolla en condiciones que favorecen las pérdidas de nitrógeno, fundamentalmente por desnitrificación, volatilización, lavado y erosión, esas pérdidas tienen significación no solo económicas sino también desde el punto de vista de la contaminación ambiental (Departamento de Microbiología de Suelos, s.a.).

La eficiencia nutricional se refiere a la cantidad de materia seca, o de granos, producida por unidad de nutrientes aplicados. De acuerdo con Fagueria (1992), la eficiencia nutricional puede ser expresada y calculada de cinco maneras diferentes:

- **Eficiencia Agronómica (EA):** es una producción económica (granos, en el caso de cultivos anuales) obtenida por unidad de nutrientes aplicados:

$$EA = \frac{\text{Producción con fertilización (kg)} - \text{Producción sin fertilización (kg)}}{\text{Cantidad de nutrientes aplicados (kg)}} = \text{kg/kg}$$

- **Eficiencia Fisiológica (EF):** Es la producción biológica (granos y paja, en cultivos anuales) obtenida por unidad de nutrientes acumulados:

$$ER = \frac{\text{Producción total de materia seca con fertilización (kg)}}{\text{Acumulación de nutrientes con fertilización (kg)}} - \frac{\text{Producción total de materia seca sin fertilización (kg)}}{\text{Acumulación de nutrientes sin fertilización (kg)}} = \text{kg/kg}$$

- Eficiencia de Recuperación (ER): Es la cantidad de nutrientes acumulados por unidad de nutrientes aplicados:

$$ER = \frac{\text{Acumulación de nutrientes con Fertilización (kg)} - \text{Acumulación de nutrientes sin fertilización (kg)}}{\text{Cantidad de nutrientes aplicados}} \times 100 = \%$$

- Eficiencia Agro-fisiológica (EAF): Es la producción de granos obtenida por unidad de nutrientes acumulados:

$$EAF = \frac{\text{Producción de granos con fertilización (kg)}}{\text{Acumulación de nutrientes en la parte aérea y los granos con fertilización (kg)}} - \frac{\text{Producción de granos sin fertilización (kg)}}{\text{Acumulación de nutrientes en la parte aérea y los granos sin fertilización (kg)}} = \text{kg/kg}$$

- Eficiencia de utilización (EU): Es el producto de la eficiencia fisiológica por la eficiencia de recuperación:

$$EU = \text{Eficiencia fisiológica} \times \text{Eficiencia de recuperación} = \text{kg/kg}$$

Uno de los determinantes de la Eficiencia de Recuperación Dobermann (2000) indica que la ER de nutrientes se relaciona con los siguientes factores:

- Cantidad de nutrientes nativos del suelo.
- Cantidad de nutrientes aplicados.
- Potencial de absorción, que depende de la disponibilidad de otros nutrientes y el rendimiento potencial ajustado al clima para un cultivo de arroz en particular.

- El suplemento del nutriente nativo del suelo es igual a la absorción del nutriente hasta la madurez bajo condiciones óptimas en una parcela de omisión.
- Todos los nutrientes aplicados con los fertilizantes son potencialmente disponible para el cultivo. Esta condición es cierta para muchos suelos cultivados con arroz irrigado donde la fijación de P y K es sustancialmente menor que en suelos aireados. Esta consideración no es válida para N, donde la eficiencia de recuperación no depende solamente de la cantidad total de N aplicado, si no también del número de fracciones y el calendario de las aplicaciones.

Salgar y Fagueria (1997) reportan valores de eficiencia agronómica de 35 a 51 kg/kg en suelos con fertilidad media y de 37 a 51 kg/kg en suelos con fertilidad alta; mientras que en la eficiencia de recuperación estos autores presentan valores de 30 a 83% en suelos con fertilidad media y de 56 a 99 en suelos con fertilidad alta.

Por otra parte, Witt *et al.* (1999) en estudios sobre 700 muestras colectadas durante 1985-87 en lotes de agricultores de arroz irrigado de zonas bajas en Asia dan a conocer los siguientes valores de eficiencia de nitrógeno considerados como óptimos:

Eficiencias	Valor óptimo
EA _N (kg de grano/ kg N)	≥ 20
ER _N (kgN/kgN)	≥ 0.50
EF _N (kg de grano/kgN)	≥ 50
EA _N (kg de grano/kgN)	≥ 68

Rodríguez (1993) indica que el cultivo no recupera todo el fertilizante agregado, ya que este sufre diversas pérdidas en su interacción con el suelo. Esto conduce a considerar una cierta eficiencia de la fertilización de los cultivos en los distintos agroecosistemas. En esta eficiencia se considera, tanto la proveniente de las interacciones suelo-fertilizante, como la de la interacción cultivo-fertilizante. Por lo tanto, la norma de fertilización de acuerdo a lo señalado anteriormente, está dada por la demanda de nutrientes de un cultivo, el suministro de nutrientes del suelo y a la eficiencia de fertilización.

En estudios efectuados para establecer el balance de nitrógeno en el cultivo de arroz irrigado, donde se utilizaron sulfato de amonio y urea, marcados con 5% de exceso

de ^{15}N en dosis de 120 kgN/ha. La recuperación del nitrógeno en la planta fue mayor con la aplicación de sulfato de amonio (32% y 48%) que con urea (27% y 35%) (Camilo de Cori *et al.*, 1992).

Ness (1996), menciona en forma general eficiencias de 60% para N, K, Ca, Mg y de 30% para P, valores que pueden ser utilizados en el cálculo de dosis de nutrimentos por el método de balance.

2.5. Nitrógeno (N)

Masler (2000) expresa que el Nitrógeno, más que cualquier otro elemento, facilita el crecimiento rápido y el color verde oscuro. Las plantas necesitan mucha cantidad de nitrógeno porque forma parte de muchos compuestos importantes, incluyendo la proteína y la clorofila. Las plantas responden al nitrógeno de las siguientes maneras:

- El nitrógeno acelera el crecimiento. Las plantas que reciben el nitrógeno adecuado tienen un crecimiento vigoroso, unas hojas grandes y largos entrenudos de tallo.
- Las plantas producen grandes cantidades de clorofila, un pigmento verde oscuro.
- El contenido de proteína del tejido de la planta estará a pleno rendimiento. Un contenido de proteína más alto hace que la planta sea una fuente mejor de forraje, alimentación y nutrición humana.
- Las plantas usan de una forma óptima el agua cuando tienen nitrógeno en una cantidad amplia.

Deficiencia y exceso de N

El nitrógeno es un elemento que al estar involucrado en tantos procesos fisiológicos que su deficiencia afecte grandemente el crecimiento de la planta. La deficiencia de nitrógeno se manifiesta, en primer lugar, por una debilidad de la planta, se desarrolla poco, las hojas permanecen pequeñas, rígidas y toman un color verde amarillento; el pecíolo muestra síntomas con más pronunciadas, ya que el desarrollo de las partes vegetativas. En los casos de grave deficiencia, las hojas adquieren una coloración amarilla o violácea en los bordes, y la floración es muy escasa. Debido a que el nitrógeno es muy móvil en las plantas, la deficiencia se acusa

semanas en las hojas más viejas, ya que hay un desplazamiento hacia las más jóvenes. La vegetación deficiente de nitrógeno viene acompañada de una maduración adelantada del fruto y de una disminución del rendimiento. Esto ocurre más frecuentemente cuando no se administran cantidades adecuadas de otros elementos nutritivos. La urea es un fertilizante nitrogenado muy adecuado para aplicarlo directamente por pulverización foliar. Generalmente, el efecto inicial del nitrógeno de la urea aplicado por vía foliar es más rápido, mayor y de más corta duración que los tratamientos comparables de nitrógeno por el suelo. La urea se utiliza al 0.9% sin impurezas y conteniendo menos del 0.25% de biuret. La abundancia nitrogenada en la planta presenta signos.

Consecuencias a la deficiencia. Cantidades excesivas originan plantas muy suculentas, con pocas partes leñosas, disminución muy marcada en el desarrollo de las raíces y con un amplio desarrollo de las raíces y vegetal aéreo. Las hojas toman un color verde muy oscuro y la maduración se retrasa. En muchos cereales alarga el período de crecimiento, lo que trae consigo un mayor contenido en paja con relación al grano. Excesivas dosis de nitrógeno pueden originar, incluso, otras deficiencias que no se esperarían en caso de emplearse el nitrógeno a dosis normales. El crecimiento exagerado que resulta de aplicar con exceso el nitrógeno, provoca también la rápida absorción de otros elementos, que si no se encuentran en cantidades suficientes en el suelo disponible, pueden ocasionar deficiencias, como la de cobre (Navarro 2000).

El Fósforo (P)

Navarro (2000) expresa que: El fósforo también estimula el crecimiento pero en menor medida que el nitrógeno. El fósforo afecta al crecimiento de la planta de diversas maneras:

- El fósforo forma parte del material genético (cromosomas y genes) por lo que está implicado en la reproducción de la planta y la división celular.
- El fósforo forma parte de las sustancias químicas que almacenan y transfieren energía en todos los seres vivos. Sin él todas las reacciones biológicas llegan a detenerse. En las plantas, los ejemplos de reacciones de energía incluyen la captura de energía de la luz por la fotosíntesis y el transporte de energía en las raíces para la absorción de nutrientes.
- El fósforo estimula pronto y rápido el crecimiento de la raíz y ayuda a la joven planta a desarrollar sus raíces.

- El fósforo ayuda a las plantas a usar agua más eficientemente, mejorando el agua absorbida por las raíces.
- El fósforo mejora la eficacia de la captura del nitrógeno por las plantas, haciendo mejor empleo del nitrógeno de fertilizante y reduciendo el riesgo de contaminación del agua de la tierra debido a la lixiviación del nitrato.
- Un fósforo adecuado en el suelo asegura un suministro de suficiente fósforo a la alimentación de los animales.

El fósforo actúa de muchas maneras para equilibrar el nitrógeno. Mientras el nitrógeno ayuda a la madurez, el fósforo la acelera. El nitrógeno ayuda al crecimiento vegetativo; el fósforo ayuda a la floración y a la fructificación. Como regla empírica, el fósforo es más importante para las cosechas de las que usamos la parte de la flor (flores, frutas o semillas). El fósforo también promueve el crecimiento de la raíz temprano y rápido, siendo que es a menudo el elemento principal en los fertilizantes de arranque.

3.3 Deficiencia y exceso de P

Went (2000), manifiesta que los síntomas generales de la falta de fósforo están ligados a un desarrollo anormalmente débil del vegetal, tanto en su parte aérea como en el sistema radicular. Ello es consecuencia, tal como se ha visto, de que el fósforo es un participante básico en casi todos los procesos de crecimiento y síntesis de sus compuestos constituyentes. Las características más específicas cuando existe deficiencia aparecen en las hojas, que se hacen más delgadas, erectas, de menor tamaño que las normales y con las nerviaciones poco pronunciadas. Debido a la elevada movilidad del fósforo en la planta, y a causa de la tendencia que presentan las hojas jóvenes a obtener de las más viejas los elementos móviles en condiciones de deficiencia, las hojas antiguas son las primeras que muestran los síntomas.

También está comprobado que el fósforo es necesario especialmente para la germinación de semillas. En los cereales se observa una sensible disminución del número de espigas, un debilitamiento de sus cañas y una menor resistencia a las enfermedades y daños por heladas. Cuando hay falta de fósforo, la cosecha puede reducirse en un 50%. Presenta asimismo una relación estrecha con la producción de semillas. Las alteraciones por exceso de fósforo se observan experimentalmente sólo en cultivos en medio líquidos. En ciertos suelos enriquecidos fuertemente por aplicaciones masivas y repetidas de fertilizantes fosforados solubles, son frecuentes

ácidos férricos por la insolubilización que sufre el hierro ante dichos excesos (Navarro 2000).

2.18. Potasio (K)

Reuter (2000) expresa que el potasio (llamado también potasa) es un nutriente clave de la planta. Las plantas consumen más potasio que cualquier otro nutriente, superando al nitrógeno, y algunas plantas, pueden usar más. Los compuestos no orgánicos de una planta contienen potasio, pero muchos procesos biológicos lo necesitan. El potasio se disuelve en los fluidos de la planta, cubriendo diversas funciones reguladoras. El potasio activa las necesidades de enzimas en la formación de proteína, almidón, celulosa y lignina. Por consiguiente es necesario para el desarrollo de fuertes paredes gruesas de células y tallos de planta rígidos. El potasio regula la apertura y el cierre del estoma de la hoja (poros en la hoja que dejan pasar el oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua hacia fuera y hacia dentro de la hoja). Por consiguiente el potasio está implicado en el intercambio de gas necesario para la fotosíntesis y la transpiración. El potasio actúa para equilibrar los efectos del nitrógeno, y para un nitrógeno en particular se sugiere una cantidad de potasio para ciertas cosechas. El nitrógeno conduce a un crecimiento suave pero el potasio promueve un crecimiento más duro. La dureza resulta del mayor grosor de las paredes de las células. Este aumento de la dureza mejora las cosechas de varias

- Las plantas bien provistas de potasio tienen fuertes tallos que son menos propensos al encamado.
- Las plantas bien nutridas combaten la enfermedad.
- El potasio hace que las plantas sean más resistentes al invierno y menos propensas a ser dañadas por las heladas primaverales u otoñales.
- El potasio, por su regulación del estoma, influye en el porcentaje de transpiración. Una planta con un buen suministro de potasio transpira menos y eso mejora el empleo del suministro de agua.

2.19. Deficiencia y exceso de K

El potasio es móvil en la planta. Por ésta razón, cuando empieza a manifestarse en la planta la deficiencia, el elemento que está almacenado en las hojas tiende a desplazarse

Las más jóvenes para cubrir sus necesidades, siendo las hojas viejas las que presentan los primeros signos visibles de la deficiencia (Navarro, 2000).

Las alteraciones por exceso de potasio en la planta se presentan con menos frecuencia y están basadas en los antagonismos: K/Mg, K/Ca, K/Fe y K/B. La absorción excesiva y su enriquecimiento hacen disminuir la de otros. Por ello, el exceso origina comúnmente situaciones a deficiencia de magnesio, hierro y zinc. (Navarro, 2000).

2.12. Requerimientos nutrimentales del cultivo de arroz

Según el INPOFOS (s.a.) la producción de una tonelada de grano de arroz paddy requiere del suelo aproximadamente 22.2 kg N, 3.1 kg P, 26.6 kg K, 2.8 de Ca kg 2.4 Mg y 2.24 kg S.

Barbieri (2003), indica las siguientes cantidades totales para producir una tonelada de arroz con 20 - 4 - 23 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

Castellanos *et al.* (2000) reportan los siguientes valores de requerimientos nutrimentales para producir una tonelada de grano o producto cosechado en el cultivo de arroz.

Parte de la planta	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Grano	14.5	6.0	3.5
Hojas	7.5	1.0	28.5
Total	22.0	7.0	32.0

2.13. Recomendaciones de N, P₂O₅ y K₂O para el cultivo de arroz

En estudios efectuados por INIAP (2005) en la década de los 80 se determinó las siguientes recomendaciones de N, P₂O₅ y K₂O en función de los niveles de fertilidad de los suelos, los mismos que se detallan a continuación:

Mineralización del	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Análisis de suelo			
	kg/ha		
BAJO (B)	120	60	60
MEDIO (M)	100	30	30
ALTO (A)	80	0	0

En estudios con niveles crecientes de nitrógeno de 0 a 210 kg/ha por Fagueria (1999) en Brasil encontró una respuesta cuadrática, se estimó una productividad máxima de 1000 kg/ha, siendo el nivel óptimo de 120 kgN/ha utilizando como fuente sulfato de amonio.

2.14. Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización.

Según Volke *et al.* (1998), uno de los enfoques utilizados para generar recomendaciones de fertilización de los cultivos es el método de balance nutrimental, basado en que la dosis de fertilización depende de la demanda del nutrimento por el cultivo, el suministro del nutrimento por el suelo y la eficiencia de recuperación del nutrimento aplicado como fertilizante. Este enfoque requiere de menos recursos y tiempo para su implementación que otros enfoques, ventaja que lo hace atractivo de usar. La fertilización estará definida por la demanda, el suministro y la eficiencia de aprovechamiento del fertilizante, en cuanto a que no todo el nutrimento del fertilizante es aprovechado por el cultivo, llegándose a un modelo conceptual simplificado para su cálculo como el siguiente:

$$\text{Dosis de fertilizante} = \frac{\begin{array}{l} \text{Demanda del nutrimento} \\ \text{Por el cultivo} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Suministro del nutrimento} \\ \text{por el suelo} \end{array}}{\text{Eficiencia de recuperación del fertilizante}}$$

2.15. Concentraciones de nutrimentos en los tejidos

Wise y Jones (1996) dan a conocer los siguientes intervalos de suficiencia en hojas de maíz de reciente y completo desarrollo:

Macronutrientes		Micronutrientes	
	%		ppm
N	2.80 – 3.60	Fe	75 – 200
P	0.10 – 0.18	Mn	200 – 800
K	1.20 – 2.40	B	5 – 15
Ca	0.15 – 0.30	Cu	8 – 25
Mg	0.15 – 0.30	Zn	25 – 50
S	No hay datos	Mo	No hay datos

2.75. Análisis de suelos

Ramírez (1998), manifiesta que: El análisis de una muestra de suelo es una de las principales herramientas que se emplean en el diagnóstico de fertilidad. La adecuada interpretación del análisis químico de suelo le permite al productor elaborar los programas de encalado y fertilización de su cultivo en particular que realmente requiere.

2.77. Parámetros para interpretación de análisis de suelos

Para la interpretación de análisis de suelos de la costa ecuatoriana se ha propuesto la siguiente tabla:

Nutriente	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
N	ppm	< 31.0	31.0 – 40.0	> 40.0	
P	ppm	< 8.0	8.0 – 14.0	> 14.0	
S	ppm	< 6.0	6.0 – 12.0	> 12.0	
K	meq/100ml	< 0.2	0.2 – 0.38	> 0.38	
Ca	meq/100ml	< 5.1	5.1 – 8.9	> 8.9	
Mg	meq/100ml	< 1.7	1.7 – 2.3	> 2.3	
Cu	ppm	< 1.1	1.1 – 4.0	> 4.0	
Fe	ppm	< 20.0	20.0 – 40.0	> 40.0	
Mn	ppm	< 5.1	5.1 – 15.0	> 15.0	
Zn	ppm	< 3.1	3.1 – 7.0	> 7.0	
B	ppm	< 0.20	0.20 – 0.49	> 0.49	> 1.0
Cl	ppm	< 17.0	17.0 – 32.9	> 32.9	
	Siglas	B	M	A	

Fuente: Dpto. Suelos y Aguas INIAP EE. Boliche.

3.15. Determinación de las dosis óptimas de N, P₂O₅, K₂O y las relaciones nutricionales límites en suelos y foliar.

A la dosis de fertilizante que el productor debe agregar al cultivo con el objeto de obtener la máxima ganancia, se le conoce como dosis óptima económica (DOE), este método consiste básicamente en que mediante la utilización de datos de experimentos la respuesta de un cultivo a diferentes dosis de fertilización y/o otros insumos se estima un modelo matemático que trata de responder a la respuesta del cultivo a las aplicaciones de los insumos, y posteriormente el modelo matemático estimado se emplea para generar las DOE de dichos insumos (Rebolledo, 1999).

Hay diferentes metodologías para estimar DOE, una de las metodologías, quizás la más empleada en la actualidad, ha sido descrita por diferentes autores (Heady y Dillon, 1981; Volke, 1981) y consiste básicamente en estimar mediante regresión un modelo matemático para representar la respuesta del cultivo a las aplicaciones de fertilizantes y otros insumos de la producción, el cual se utiliza generalmente para generar las DOE.

Existe otra metodología de análisis económico dada por el Programa de Economía del IICA (1988) que a través de la tasa marginal de retorno (TMR) da a conocer el o los mejores tratamientos para ser usado por los productores; ésta metodología consiste en el cálculo de: 1) presupuesto parcial; 2) análisis de dominancia; 3) curva de beneficios netos; y 4) análisis marginal.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

El lote de campo se inició el 20 de junio en verano del 2006 en la localidad de Nobol con las siguientes coordenadas geográficas de 01° a 03° de latitud sur y 79° 50' y 80° 00' de longitud occidental. La zona en cuestión pertenece a la clase Bosque Húmedo Tropical con temperaturas promedio de 25°C, humedad relativa de 83% y una precipitación promedio de 1632 mm/año¹¹.

3.2. Características edafológicas y de fertilidad del suelo

Los suelos de la localidad de Nobol corresponden al orden de los vertisoles, arcilla montmorillonita del tipo 2:1. La topografía de estos terrenos es plana, los suelos son húmedos casi todo el año. Tanto el lote designado para el experimento con fuentes verticilantes como el de niveles crecientes de N, P₂O₅ y K₂O, los suelos fueron bajos en nitrógeno, fósforo, zinc y boro; medios en potasio y hierro y altos en calcio magnesio, cobre y manganeso. El pH fue de 6.6 (prácticamente neutro); medios en materia orgánica; textura arcillosa, con más del 48% de arcilla. Los suelos tienen niveles despreciables de salinidad, con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 100 (Cuadros 31A, 32A y 33A).

3.3. Equipos y materiales

3.3.1. Materiales de laboratorio

- Digestor de Kjeldahl
- Destilador de Kjeldahl
- Estufa
- Mufla
- Potenciómetro
- Espectrofotómetro HACH
- Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer

¹¹ Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 1995-2005.

- Densímetro de Bouyoucus
- Agitadores de suelos
- Cronómetro
- Probetas graduadas de 250, 500, 1000 ml.
- Vasos de precipitación 100, 250, 500 ml
- Matraces aforados de 100, 250, 500 ml.
- Matraces graduados de 100, 150, 200, 250 ml.
- Buretas de 10, 25, 50 ml.
- Pipetas graduadas de 1, 2, 5, 10 ml.
- Pipetas volumétricas de 1, 5, 10 ml.
- Embudos
- Papel filtro
- Papel tornasol
- Ácido sulfúrico concentrado
- Solución alcalina
- Ácido acético
- Carbonato de calcio
- Carbonato de magnesio
- Ácido sulfomolibdico
- Acetato amónico.

3.2.2 Materiales de campo

- Cinta métrica
- Latillas de caña guadua
- Pintura
- Tarjetas de cartón para identificación
- Hoces
- Tanques para chicoteo (trillada del grano)
- Fundas de papel
- Fundas plásticas
- Sacos
- Lona
- Balanza

- Determinador de humedad del grano
- Cámara fotográfica y de video
- Libro de campo
- Semilla de arroz
- Fertilizante urea (46% N)
- Fertilizante sulfato de amonio (21% N)
- Fertilizante superfosfato triple (46% P₂O₅)
- Fertilizante fosfato diamonico (DAP) (46% P₂O₅)
- Fertilizante cloruro de potasio (60% K₂O)
- Fertilizante sulfato de potasio (50% K₂O)

2.4. Experimentos utilizados en el estudio de dosis óptimas con N, P₂O₅ y K₂O

2.4.1. Factores estudiados

Se estudiaron los siguientes niveles de fertilización por hectárea.

Experimento 1. N = 0, 40, 80, 120, 160, 200

Experimento 2. P₂O₅ = 0, 20, 40, 60, 80, 100.

Experimento 3. K₂O = 0, 40, 80, 120, 160, 200.

2.4.2. Diseño de tratamientos

Se efectuaron tres experimentos los mismos que se detallan a continuación:

EXPERIMENTO 1		EXPERIMENTO 2		EXPERIMENTO 3	
Tratamiento	N (kg/ha)	Tratamiento	P ₂ O ₅ (kg/ha)	Tratamiento	K ₂ O (kg/ha)
1.	0	1.	0	1.	0
2.	40	2.	20	2.	40
3.	80	3.	40	3.	80
4.	120	4.	60	4.	120
5.	160	5.	80	5.	160
6.	200	6.	100	6.	200

2.4.3. Diseño experimental

Para cada factor N, P y K se empleo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones cuyo modelo estadístico se detalla a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} = variable respuesta en tratamiento i, repetición j.

μ = media general

t_i = Efecto de tratamiento i.

B_j = Efecto de bloque j.

ϵ_{ij} = Error aleatorio.

2.5. Experimentos utilizados en el estudio de la eficiencia de fertilización con N, P₂O₅ y K₂O

Para esto se efectuó 7 parcelas de omisión de 5 x 5 m (25 m²). Cada parcela estuvo conformada de la siguiente forma:

Parcela 1 = Sin fertilización

Parcela 2 = 120 kg N/ha (261 kg UREA/ha)

Parcela 3 = 120 kg N/ha (571 kg sulfato de amonio/ha)

Parcela 4 = 60 kg P₂O₅/ha (130 kg superfosfato triple/ha)

Parcela 5 = 60 kg P₂O₅/ha (130 kg DAP/ha)

Parcela 6 = 80 kg K₂O/ha (133 kg cloruro de potasio/ha)

Parcela 7 = 80 kg K₂O/ha (160 kg sulfato de potasio/ha)

2.6. Manejo de los experimentos

Durante el desarrollo del mismo, se efectuaron las siguientes labores.

2.6.1. Semillero

La semilla se colocó en remojo 3 días antes de la siembra, el semillero se lo realizó el 23 de julio del 2006, al voleo con semilla pre-germinada, sobre terreno fangueado, bien mezclado y se adicionó una capa fina de ceniza.

3.2.2. Preparación de suelos

Se realizó en condiciones de inundación el 10 de julio del 2006, con un tractor provisto de una canasta fanguadora para picar e incorporar las malezas existentes en el mismo, se construyeron muros para mantener el terreno inundado y se procedió a nivelar con una tabla.

3.2.3. Transplante

Esta labor se realizó a los 20 días de edad del cultivo, el 05 de agosto del 2006 colocando tres plántulas por sitio a una distancia de 0,25 x 0,25 m.

3.2.4. Control de malezas

Esta labor se realizó de acuerdo a las malezas que se presentaron en el ensayo y se efectuaron controles químicos, el primer control se realizó 10 días antes del transplante de las plántulas, en el caso de malezas de hojas anchas y ciperáceas, posteriormente se realizaron cuatro deshierbas manuales para controlar malezas gramíneas. Se aplicó los herbicidas, propanil 2 l/ha, 2-4 D Amina 0.5 l/ha, Bispiribac sodium (Nomineec), 0.3 l/ha.

3.2.5. Fertilización

La fertilización con nitrógeno con los niveles planteados en el diseño de tratamientos se fraccionó en 2 partes, la primera aplicación se realizó a 10 días después del transplante (15 de agosto del 2006), la segunda aplicación se efectuó a los 15 días después de la primera aplicación de nitrógeno (30 de agosto del 2006), el fertilizante se aplicó a chorro continuo en cada una de las parcelas.

3.2.6. Riego

En los experimentos se realizaron 10 riegos con intervalos de 10 días aproximadamente manteniendo una lámina de agua de 2 a 3 pulgadas hasta el estado de grano.

1.5.7. Control fitosanitario

Se aplicó Cypermctrina en dosis de 0.5 l/ha, se realizaron tres aplicaciones el 7, 16 de agosto y el 1 de septiembre el debido a la presencia de *hidrelia sp*, la incidencia del insecto en el cultivo fue baja.

1.5.8. Cosecha

Esta labor se la realizó el 17 de noviembre del 2006, en el área útil de cada unidad experimental de acuerdo con el estado de madurez de la variedad INIAP 14. Se utilizaron hoces para el corte de las plantas y una lona con un trozo de madera para la malla del grano (chicoteo).

1.7. Métodos

1.7.1. Determinaciones agronómicas y rendimientos

En años donde se tomó muestras de suelo y foliares, se procedió a mediar las siguientes variables:

1.7.1.1. Altura de planta

Al momento de la cosecha se tomo cinco plantas del área útil de cada unidad experimental y se procedió a medirlas desde la superficie del suelo hasta el ápice de la panícula más pronunciada, se promedió y expresó en centímetros.

1.7.1.2. Número de macollos/m²

En un metro cuadrado tomado del área útil de la parcela al momento de la cosecha se contaron el número de macollos.

1.7.1.3. Número de panículas/m²

En el mismo metro cuadrado donde se determinó el número de macollos/m² se procedió a contar el número de panículas.

2.7.1.4. Longitud de panícula

Se midió cinco panículas al azar desde el nudo ciliar hasta la punta del grano más pronunciado sin incluir las aristas, se promedió y expresó en centímetros.

2.7.1.5. Granos/panícula

Se contó el número de granos de 5 panículas tomadas al azar de cada unidad experimental y promedió.

2.7.1.6. Porcentaje de granos vanos/panícula

En las cinco panículas señaladas anteriormente se determinó el número de granos vanos, se promedió y se expresó en centímetros.

2.7.1.7. Peso de 1000 semillas

Este dato se lo obtuvo contando 1000 granos con el 14% de humedad y se lo expresó en gramos.

2.7.1.8 Rendimiento

Esta variable se determinó en kg/ha, se calculó con base a la cosecha del arroz paddy al 14% de humedad utilizando la siguiente fórmula:

$$Pa = \frac{Pm \times (100 - Hi)}{10 - Hd} \times \frac{10}{ac}$$

Donde:

P_a = Peso ajustado al tratamiento

H_i = Humedad inicial al momento de pesar

H_d = Humedad deseada al 14%

P_m = Peso de la muestra

ac = Área cosechada.

3.3. Muestreo de suelos, tejidos vegetales y preparación de las muestras

3.3.1. Muestreo de suelo

Lopez (1984) dice que en un campo, la toma de muestras, para medir propiedades del suelo que afectan la producción, debe realizarse siempre basándose en muestras compuestas e incluir una por cada parcela que haya recibido tratamiento distinto.

Cada parcela se delimitó y se cruzó ésta en zig-zag, haciendo sondeos de unos 15 a 20 cm de profundidad. La muestra compuesta de 3 sondeos o submuestras) se colocó en la bolsa marcada para su identificación.

3.3.2. Muestreo de tejidos vegetales

En los experimentos para determinar la dosis óptima de N, P_2O_5 y K_2O , el muestreo se lo efectuó siguiendo las recomendaciones de Suárez (1994). Se colectó la primera y segunda hoja de la parte superior de la planta hacia abajo, cuando la planta estuvo en estado de floración y la espiga estuvo emergiendo, a estas muestras se les determinó las cantidades de N, P y K en porcentaje. En el experimento para medir eficiencias la muestra estuvo conformada por dos plantas/parcela de omisión, tomadas al momento de la cosecha desde el cuello de la raíz (superficie del suelo); a estas se les determinó el peso de la materia seca, clasificando el grano y la paja, y cuantificó los elementos N, P y K en porcentaje, posteriormente se procedió al calculo de estos elementos por su absorción en kg/ha.

3.3.3. Preparación de las muestras

Lopez (1978) manifiesta que las muestras del suelo, todavía húmedas, se llevan al laboratorio, donde se someten a ciertas manipulaciones antes de su análisis posteriormente dicho.

- Tamizado.
- Secado.
- Molido.
- Mezclado.
- Pesado.
- Almacenado.

3.3. Metodología para análisis de suelo y foliar

La metodología utilizada en los análisis físico-químicos de las muestras de suelo fue la siguiente:

pH	Suspensión suelo agua 1:2.5
P	Colorimetría (extractante Olsen modificado)
K	Absorción atómica (extractante Olsen modificado)
N total	Kjeldahl
OC	Acetato de amonio (1N) pH 7.0
Salinidad de suelo:	Extracto de suelo (pasta saturada)
Textura:	Bouyucus

La metodología empleada en el análisis foliar fue:

N	Kjeldahl
P	Colorimetría (digestión húmeda nítrico-perclórico)
K	Absorción atómica

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento con niveles crecientes de nitrógeno

4.1.1. Altura de planta

Con la variable altura se encontró diferencia altamente significativa ($\alpha \geq 0.01$) para las fuentes modelo, repetición y tratamiento. El coeficiente de variación fue de 3.92% y la media general de 95.04 cm (Cuadro 1A).

En la dosis de 200 kg/ha de nitrógeno se contabilizó una altura de planta de 100.55 cm, siendo estadísticamente superior a las restantes dosis que estuvieron por debajo de 99.20 cm (Figura 1).

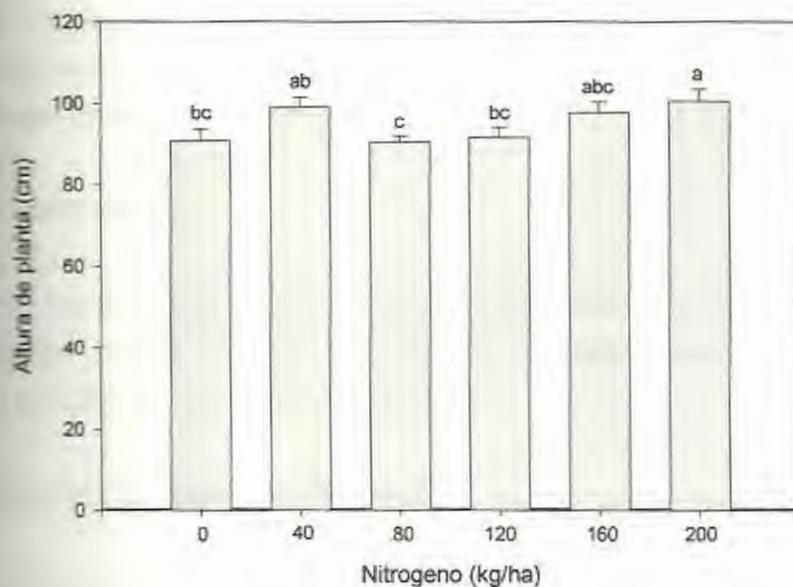


Figura 1. Efecto de dosis crecientes de nitrógeno en la variable altura de planta, Nobol 2006.

4.1.2. Número de macollos/m²

En esta variable de acuerdo con el análisis estadístico se encontró diferencia altamente significativa ($\alpha \geq 0.01$) para las fuentes modelo y repetición, el tratamiento

no significativo. El coeficiente de variación fue de 10.27% y la media general de 41 macollos/m² (Cuadro 2A).

4.1.3. Número de panículas/m²

El análisis estadístico mostró diferencia altamente significativa ($\alpha \geq 0.01$) para las fuentes modelo y repetición, la fuente de tratamiento fue no significativa. El coeficiente de variación fue de 13.10% y la media general de 242.91 panículas/m² (Cuadro 3A).

4.1.4. Longitud de panícula

Según el análisis estadístico se encontró diferencia significativa ($\alpha \geq 0.05$) para las fuentes modelo y tratamiento, el factor repetición presentó valores no significativos. El coeficiente de variación fue de 3.62% y la media general de 24.53 cm (Cuadro 4A).

La mayor longitud de panícula se obtuvo con la dosis de 200 kg/ha de nitrógeno logrando a medir 25.99 cm, siendo estadísticamente superior a las restantes que se encuentran por debajo de 23.84 cm (Figura 2).

4.1.5. Granos/panícula

De acuerdo con el análisis estadístico esta variable presenta valores no significativos en las fuentes modelo, repetición y tratamiento. El coeficiente de variación fue de 1.34% y la media general de 138.23 (Cuadro 5A).

4.1.6. Porcentaje de granos vanos/panícula

En esta variable de acuerdo con el análisis estadístico hay diferencia altamente significativa ($\alpha \geq 0.01$) en modelo y repetición, el tratamiento presenta valores no significativos. El coeficiente de variación fue de 32.62% y la media general de 10.55% (Cuadro 6A).

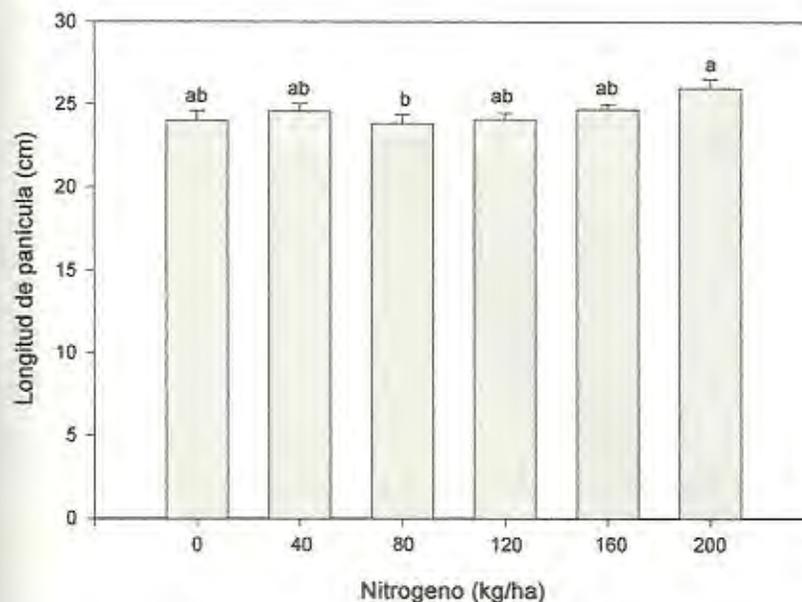


Figura 2. Efecto de dosis crecientes de nitrógeno en la variable longitud de panícula, Nobol 2006.

4.1.7. Peso de 1000 semillas

Según el análisis estadístico hay diferencia altamente significativa ($\alpha \geq 0.01$) en el tratamiento, el modelo presentó valores significativos ($\alpha \geq 0.05$), la fuente repetición fue no significativa. El coeficiente de variación fue de 4.16%, con una media general de 27.0 g (Cuadro 7A).

En esta variable se observa dos diferencias estadísticas, no hubo un efecto claro por el incremento de niveles de nitrógeno (Figura 3).

4.1.8. Rendimiento

Según el análisis estadístico en las fuentes de variación para modelo y tratamientos presentaron valores altamente significativos ($\alpha \geq 0.01$), la fuente repetición fue no significativo ($\alpha \geq 0.05$). El coeficiente de variación fue de 12.96% y la media general de 6471.71 kg/ha (Cuadro 8A).

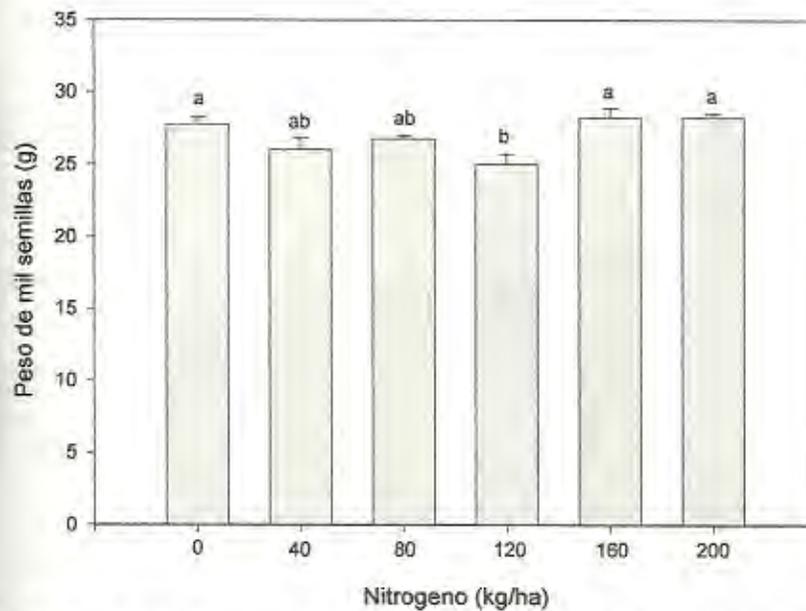


Figura 3. Efecto de dosis crecientes de nitrógeno en la variable peso de mil semillas, Nobol 2006.

El endimamiento alcanzó el mas alto valor cuando se fertilizó con una dosis de 200 kg/ha de nitrógeno llegando a obtener un rendimiento de 8397 kg/ha y fue igual estadísticamente al nivel de 160 kgN/ha, este último también fue igual estadísticamente a los tratamientos con 0, 40, 80 y 120 kgN/ha (Figura 4). En el análisis económico se optó por utilizar la metodología de Presupuestos parciales citadas por el CIMMYT (1988), por la mayor comprensión con respecto a la Dosis Óptima Económica (DOE) y la Dosis Óptima Fisiológica (DOF) citadas por Rebolledo (1996); ya que la curva no tiende a decaer a medida que se incrementa las aplicaciones de nitrógeno en el suelo, sino más bien sigue en aumento (Figura 5).

La concentración de nitrógeno encontrada en el tejido (hojas) de plantas donde se aplicó las dosis crecientes de nitrógeno estuvieron adecuadas para todos los tratamientos con valores que se encontraban dentro del intervalo de 2.80 y 3.60 % de N establecido por Mill y Jones (1996). La relación entre niveles de nitrógeno aplicados al suelo y la concentración de nitrógeno en la hoja mostró un ligero incremento de este elemento en el tejido a medida que se aumentó las dosis de nitrógeno (Figura 6).

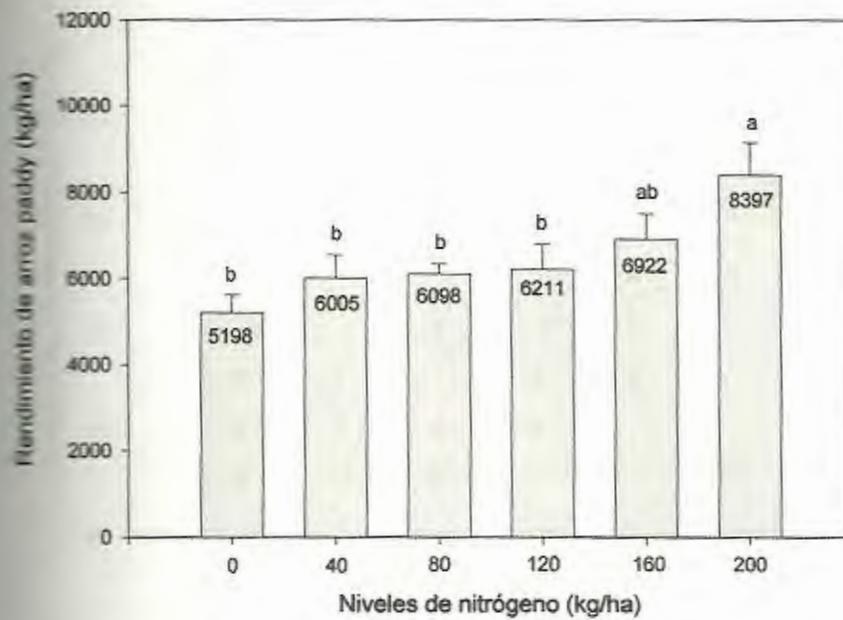


Figura 4. Efecto de dosis crecientes de nitrógeno con la variable rendimiento, Nobol 2006.

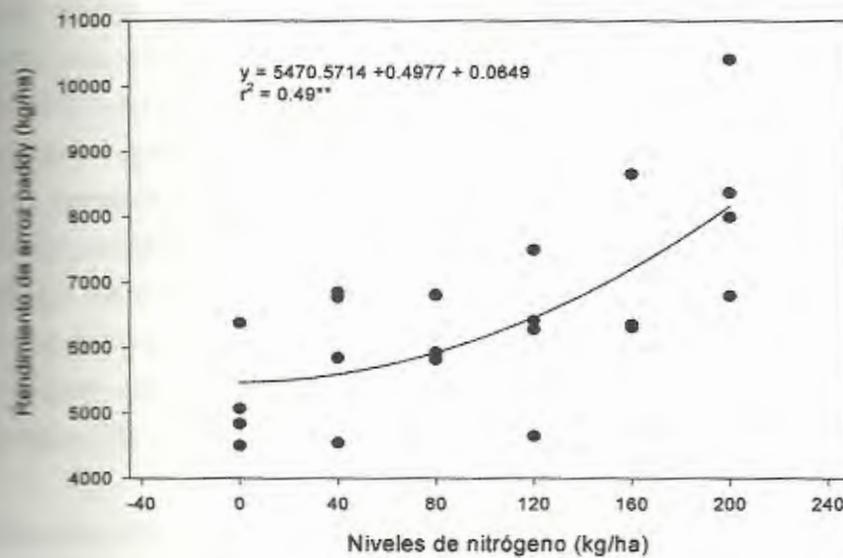


Figura 5. Efecto de la aplicación de niveles crecientes de nitrógeno sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.

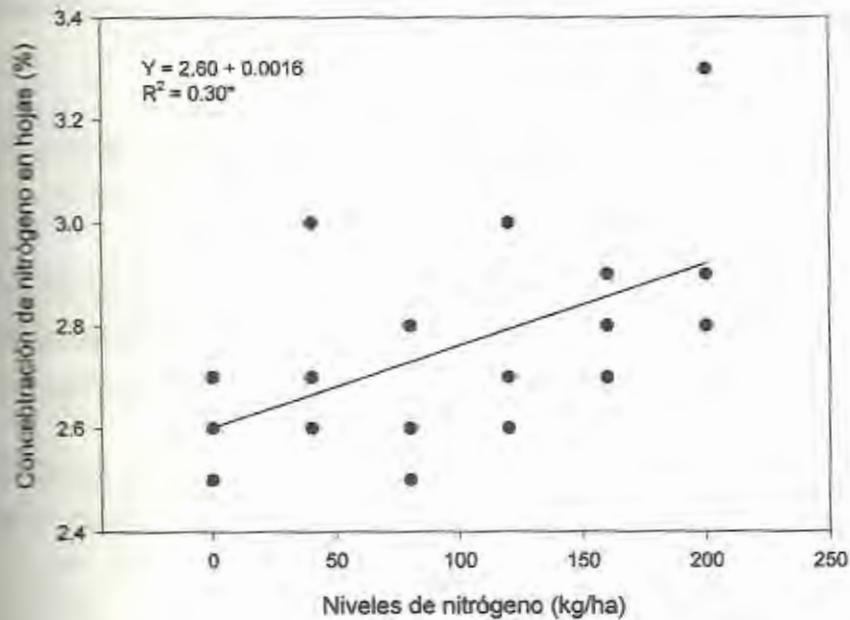


Figura 5. Concentración de nitrógeno en el tejido (hojas) y su relación con las dosis crecientes de éste elemento aplicado al suelo. Nobol, 2006.

4.1.3. Análisis de presupuestos parciales

Para este análisis se partió de los niveles crecientes de nitrógeno transformados al fertilizante urea la misma que tuvo un precio en el mercado de \$ 16,00; por otra parte, la tara de 200 libras de arroz paddy seco y limpio se cotizó en \$18,00 (0.17/kg). El rendimiento se ajustó al 5% debido a las condiciones de manejo experimental del cultivo en comparación cuando se lo hace comercialmente. Los valores del beneficio neto fueron crecientes también a medida que se incrementaba la dosis de nitrógeno, al igual que los costos variables. El beneficio neto marginal más bajo fue para el riesgo absoluto y el más alto para el tratamiento donde se aplicó 200 kg N/ha (Cuadro 2). De acuerdo con el análisis de dominancia los tratamientos que fueron eliminados con el cálculo del análisis marginal fueron el de 80 y 120 kg N/ha (Cuadro 3).

El análisis marginal (Cuadro 4) mostró una tasa de retorno marginal (TMR) de 354% al pasarse de sin aplicar nitrógeno a 40 kg de este elemento por hectárea y de este nivel a 120 kg N/ha una TMR de 72%; por otra parte, el pasarse de esta cantidad a 200 kg/ha representó una TMR de 718%, es decir, \$ 7.18 adicionales o de

rentabilidad que sobrepasa el 100% y es atractiva para el productor que realice inversiones adicionales de acuerdo con Urrutia (2005).

Cuadro 2. Análisis de presupuesto parcial del experimento sobre dosis crecientes de nitrógeno en arroz. Nobol, 2006.

Niveles de N (kg/ha)	0	40	80	120	160	200
Rendimiento (kg/ha)	5198	6005	6098	6211	6922	8397
Rendimiento ajustado 5% (kg/ha)	4938	5705	5793	5900	6576	7957
Beneficio bruto (\$/ha)	839.46	969.85	984.81	1003.00	1117.92	1352.69
Precio del fertilizante (\$/ha)	0.00	27.84	55.68	83.52	111.36	139.20
Costo aplicación de fertilizante (\$/ha)	0.00	0.87	1.74	2.61	3.48	4.35
Total de costos que varían (\$/ha)	0.00	28.71	57.42	86.13	114.84	143.55
Beneficios netos marginales (\$/ha)	839.46	941.14	927.39	916.87	1003.08	1209.14

Precio kg arroz paddy \$ 0.17

Costo por aplicación de saco de fertilizante \$ 0.50

Cuadro 3. Análisis de dominancia del experimento sobre dosis crecientes de nitrógeno en arroz. Nobol, 2006.

Tratamientos	Total de costos que varían (\$/ha)	Beneficios netos marginales (\$/ha)
0	0.00	839.46
40	28.71	941.14
80	57.42	927.39 D
120	86.13	916.87 D
160	114.84	1003.08
200	143.55	1209.14

D = Dominado.

Cuadro 4. Análisis marginal del experimento sobre dosis crecientes de nitrógeno en arroz. Nobol, 2006.

Tratamientos	Total de costos que varían (\$/ha)	Total de costos marginales (\$/ha)	Beneficios netos (\$/ha)	Beneficios netos marginales (\$/ha)	Tasa de retorno marginal (%)
0	0.00		839.46		
		28.71		101.68	354
40	28.71		941.14		
		86.13		61.94	72
160	114.84		1003.08		
		28.71		206.06	718
200	143.55		1209.14		

4.2 Experimento con niveles crecientes de fósforo

4.2.1 Altura de planta

Según el análisis estadístico en las fuentes modelo y repetición se presentó niveles altamente significativos ($\alpha > 0.01$), y para el tratamiento significativo ($\alpha > 0.05$). El coeficiente de variación fue de 2.31% y la media general de 99.33 cm (Cuadro 9A).

Se obtuvo la mayor altura de planta 98.68 cm con la dosis de 160 kg/ha de fósforo, siendo estadísticamente superior a las restantes que se encuentran por debajo de 94.05 cm (Figura 7).

4.2.2 Número de macollos/m²

En esta variable de acuerdo con el análisis estadístico se encontró diferencia significativa ($\alpha \geq 0.05$) para la fuente repetición, el modelo y tratamiento fueron no significativos. El coeficiente de variación fue de 11.67% y la media general de 282.50 macollos/m² (Cuadro 10A).

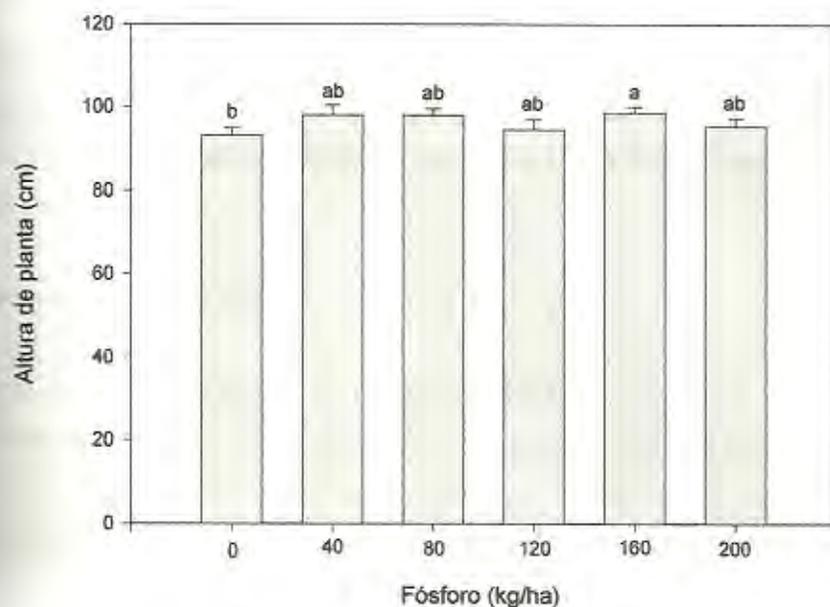


Figura 7. Efecto de dosis crecientes de fósforo en la variable altura de planta, Nobol 2006.

4.2.3. Número de panículas/m²

De acuerdo con el análisis estadístico se encontró diferencia significativa ($\alpha \geq 0.05$) para repetición; el modelo y tratamiento fue no significativo. El coeficiente de variación fue de 12.67% y la media general de 247.50 panículas/m² (Cuadro 11A).

4.2.4. Longitud de panícula

De acuerdo con el análisis estadístico se encontró diferencia significativa ($\alpha \geq 0.05$), para la fuente repetición, mientras que para modelo y tratamiento fueron no significativos. El coeficiente de variación fue de 2.68% y la media general de 25.16 cm (Cuadro 12A).

4.2.5. Granos/panícula

Según el análisis estadístico esta variable presentó valores no significativos en las fuentes modelo, repetición y tratamiento. El coeficiente de variación fue de 9.28% y la media general de 147.04 granos/panícula (Cuadro 13A).

4.2.6. Porcentaje de granos vanos/panícula

En esta variable de acuerdo con el análisis estadístico hubo diferencias altamente significativas ($\alpha \geq 0.01$), en modelo y repetición; el tratamiento presentó valores no significativos. El coeficiente de variación fue de 24.87% y la media general de 10.68% (Cuadro 14A).

4.2.7. Peso de 1000 semillas

Según el análisis estadístico esta variable presentó valores no significativos. El coeficiente de variación fue de 2.46% y la media general de 27.66 g (Cuadro 15A).

4.2.8. Rendimiento

El análisis estadístico mostró valores no significativos. El coeficiente de variación fue de 10.02%, con una media general de 7892.08 kg/ha de arroz paddy (Cuadro 16A). En la Figura 8 se observa la relación del fósforo con el rendimiento con una r^2 de 0.02^{N.S.}, lo que confirma la escasa respuesta de este elemento en experimentos a corto plazo.

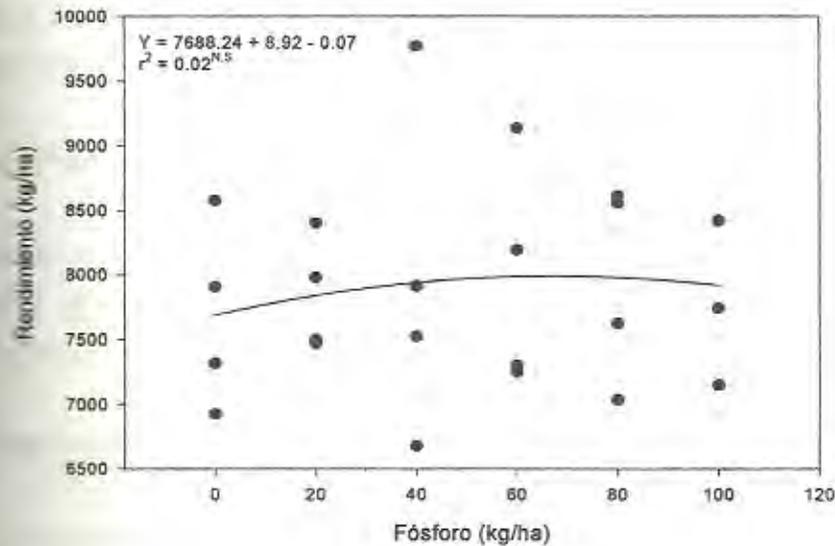


Figura 8. Efecto de la aplicación de niveles crecientes de fósforo sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.

4.3. Experimento con niveles crecientes de potasio

4.3.1. Altura de planta

Según el análisis estadístico la fuente modelo fue significativa ($\alpha > 0.05$); la repetición presentó niveles altamente significativos ($\alpha > 0.01$), el tratamiento fue no significativo. El coeficiente de variación fue de 3.57% y la media general de 94.62 cm (Cuadro 17A).

4.3.2. Número de macollos/m²

En esta variable de acuerdo con el análisis estadístico se encontró diferencia significativa ($\alpha \geq 0.05$) para el modelo y la repetición; el tratamiento fue no significativo. El coeficiente de variación fue de 7.27% y la media general de 272.54 macollos/m² (Cuadro 18A).

4.3.3. Número de panículas/m²

De acuerdo con el análisis estadístico las fuentes de variación modelo, repetición y tratamiento fueron no significativas. El coeficiente de variación fue de 12.54% y la media general de 227.16 panículas/m² (Cuadro 19A).

4.3.4. Longitud de panícula

De acuerdo con el análisis estadístico el modelo, repetición y tratamiento fue no significativo. El coeficiente de variación fue de 3.75% y la media general de 25.04 cm (Cuadro 20A).

4.3.5. Granos/panícula

Según con el análisis estadístico esta variable presenta valores no significativos en las fuentes modelo, repetición y tratamiento. El coeficiente de variación es de 13.59% y la media general es de 148.29 granos/panícula (Cuadro 21A).

4.1.6. Porcentaje de granos vanos/panícula

Según esta variable de acuerdo con el análisis estadístico el modelo, repetición y tratamiento presentaron valores no significativos. El coeficiente de variación fue de 11.58% y la media general de 47.10% (Cuadro 22A).

4.1.7. Peso de 1000 semillas

Según el análisis estadístico esta variable presentó valores no significativos. Con un coeficiente de variación de 3.94% y una media general de 27.70 g (Cuadro 23A).

4.1.8. Rendimiento

Según el análisis estadístico mostró valores no significativos. El coeficiente de variación fue de 15.43% y la media general de 7398.25 kg/ha (Cuadro 24A). En el análisis de regresión se observa una escasa tendencia de respuesta con niveles crecientes de potasio (Figura 9). Esto es obvio ya que de acuerdo como lo señala el Nobol (1984) por medio de ensayos a largo plazo se obtienen resultados más idóneos, en lo que respecta a las cantidades de fertilizantes potásicos por aplicar en determinados suelos y cultivos, que con los datos obtenidos en experimentos de una sola campaña.

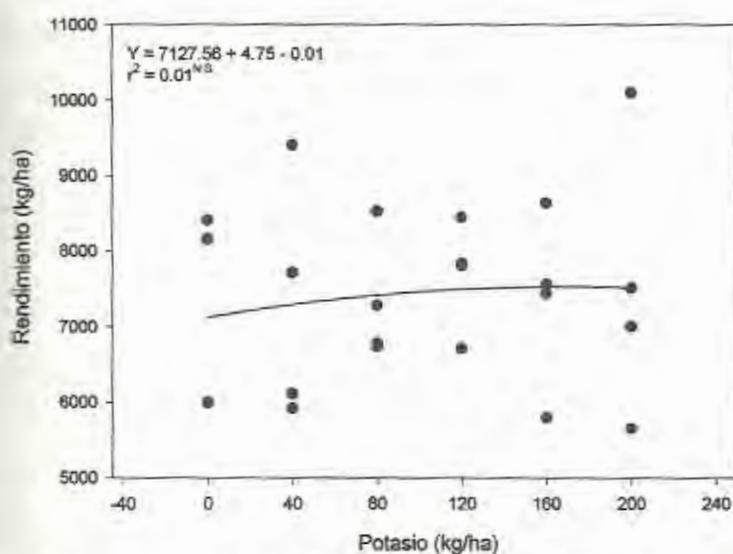


Figura 9. Efecto de la aplicación de niveles crecientes de potasio sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.

4.4 Experimentos de eficiencia con varias fuentes de N, P₂O₅ y K₂O

4.4.1. Experimentos con urea y sulfato de amonio

Según el análisis de la varianza hubo significancia estadística para el modelo ($\alpha \geq 0.05$), y para los tratamientos ($\alpha \geq 0.01$), con una media general de 8370 kg/ha de arroz paddy y un coeficiente de variación de 16.31% (Cuadro 25A).

No hubo diferencias estadísticas entre las fuentes sulfato de amonio y urea, ambas fueron iguales estadísticamente entre si, pero diferentes al testigo absoluto (sin aplicación) cuyos rendimientos fueron inferiores a los 6000 kg/ha (Figura 10).

La mayor concentración de nitrógeno se encontró sobre hojas donde se aplicó las fuentes de fertilizante nitrogenado, es decir, 3.1%; en las plantas donde no se aplicó este elemento los tejidos foliares presentaron un valor de 2.6% considerada como deficiente según los parámetros descritos por Mills y Jones (1996) (Figura 11).

La mayor cantidad de nitrógeno absorbido presentó el grano en comparación con la paja. Con el sulfato de amonio hubo un mayor valor de nitrógeno, seguido por el tratamiento donde se aplicó urea (Figura 12). Para producir una tonelada de grano de arroz paddy utilizando como fuente sulfato de amonio se necesita 22.5 kg N, mientras que con la fuente urea se requiere 20.5 kg de N, datos prácticamente iguales a los reportados por el INPOFOS (s.a.) y Bertch (2003) quienes dan a conocer valores de 22.2 y 20.4 kg de N, respectivamente por cada tonelada de grano cosechado.

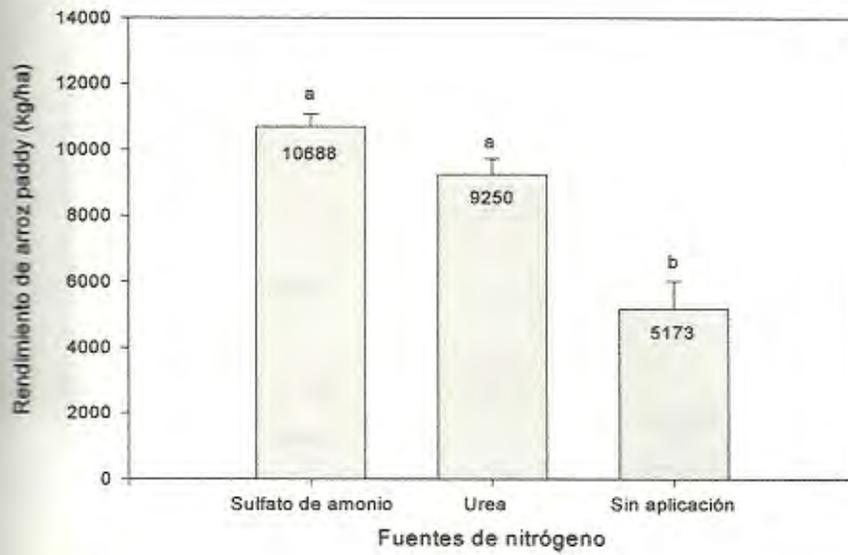


Figura 10. Efecto de la aplicación de dos fuentes de nitrógeno sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.

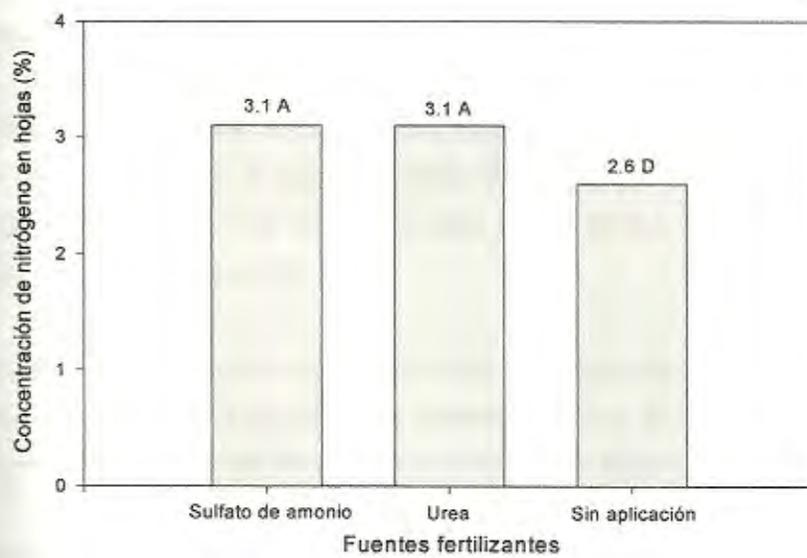


Figura 11. Efecto de la aplicación de dos fuentes de nitrógeno sobre la concentración de este en las hojas de arroz. Nobol, 2006.

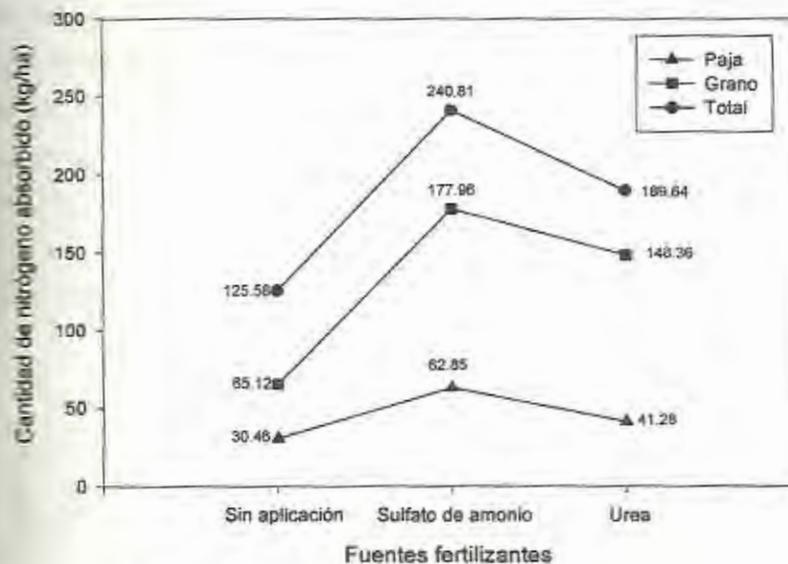


Figura 12. Efecto de la aplicación de dos fuentes de nitrógeno sobre la cantidad de nitrógeno absorbido por la paja y grano de arroz. Nobol, 2006.

4.4.2 Experimentos con superfosfato triple y fosfato diamónico

De acuerdo con el análisis de la varianza no se presentó diferencia estadística para el modelo repetición y tratamiento, hubo la necesidad de efectuar dos contrastes ortogonales el primero entre el superfosfato triple y el fosfato diamónico vs el testigo absoluto (S y F vs T) y el segundo entre el fosfato diamónico y testigo vs el superfosfato triple (F y T vs S) siendo este último el que presentó significancia estadística ($\alpha \geq 0.05$) (Cuadro 26A).

El rendimiento de arroz paddy fue similar entre el fosfato diamónico y el testigo sin aplicación de fertilizante, pero diferente estadísticamente al tratamiento donde se aplicó superfosfato triple, cuyo rendimiento sobrepasó los 6000 kg/ha (Figura 13).

La concentración del fósforo en los tres tratamientos fue prácticamente igual, los valores de 0.28 y 0.29% fueron excesivos de acuerdo con los parámetros reportados por Mills y Jones (1996) (Figura 14).

La mayor cantidad de fósforo absorbido se presenta en el grano en comparación con la paja, por efecto de la aplicación de superfosfato triple hubo una mayor absorción de fósforo en comparación a los dos restantes tratamientos (Figura 15). Si tomamos como

base al rendimiento tenemos que para producir una tonelada de arroz paddy la planta absorbió 4.59 kg P/ton, con fosfato diamónico 3.04 kg P/ton, mientras que el testigo fue de 3.6 kg de P/ton, el primero y el tercero de estos valores sobrepasan a lo reportado por el INPOFOS (s.a.) quien da a conocer un valor de 3.1 kg de P/ton de grano cosechado, quizás esto explique la concentración excesiva de fósforo en el tejido foliar.

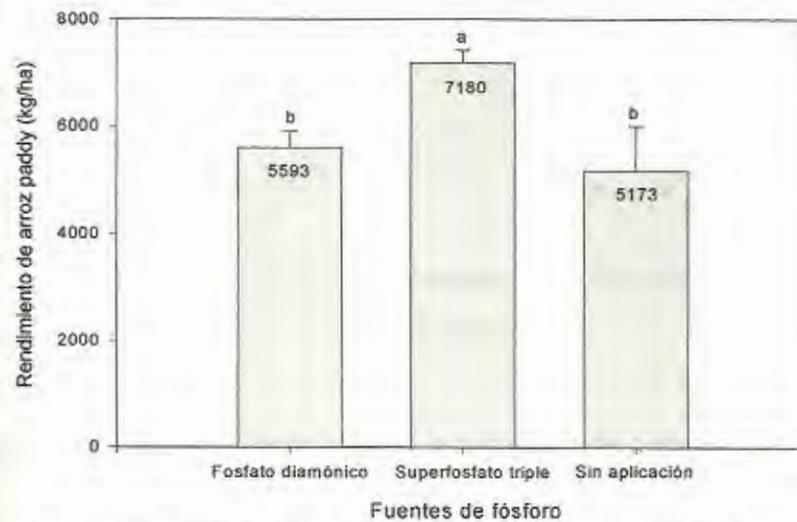


Figura 13. Efecto de la aplicación de dos fuentes de fósforo sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.

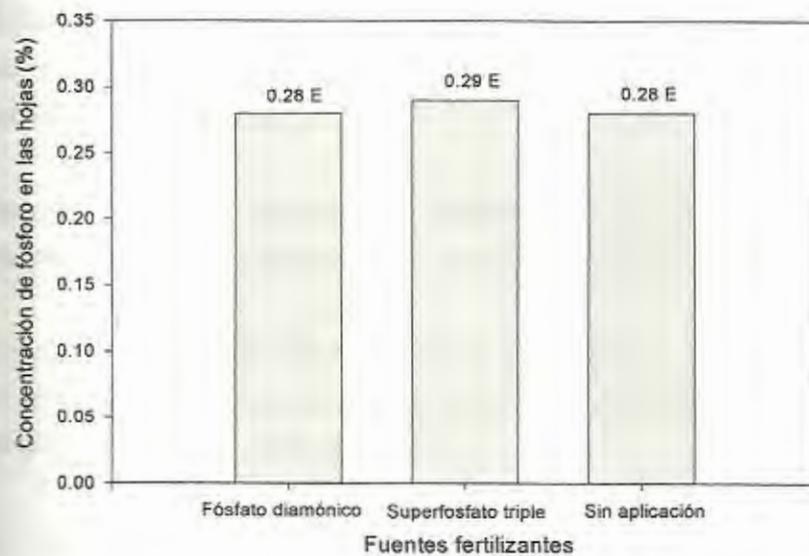


Figura 14. Efecto de la aplicación de dos fuentes de fósforo sobre la concentración de este en las hojas de arroz. Nobol, 2006.

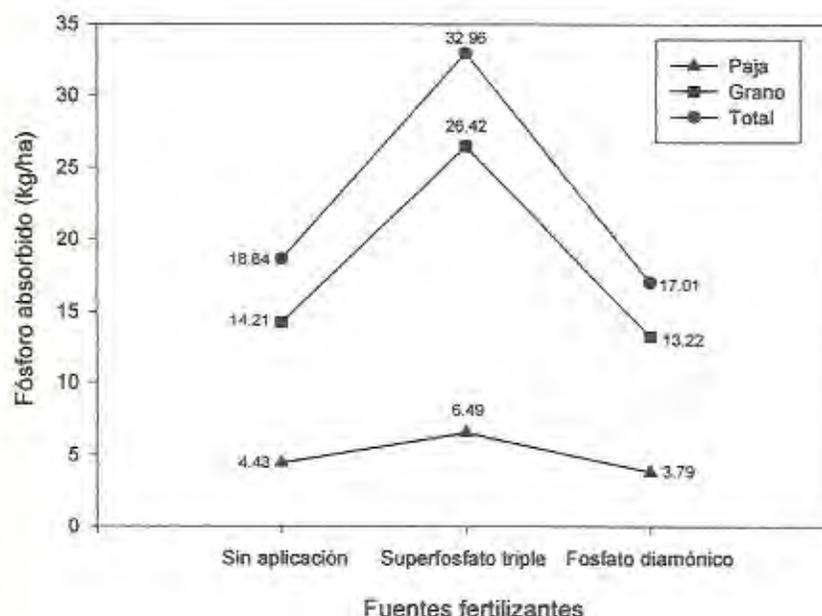


Figura 15. Efecto de la aplicación de dos fuentes de fósforo sobre la cantidad de fósforo absorbido por la paja y grano de arroz. Nobol, 2006.

4.4.3. Experimentos con cloruro y sulfato de potasio

El análisis de la varianza detectó valores no significativos para el modelo y las repeticiones, mientras que los tratamientos fueron significativos ($\alpha \geq 0.05$). El coeficiente de variación fue de 18.37% y la media general de rendimiento de 7109 kg de arroz paddy (Cuadro 27A).

Los dos tratamientos con aplicación de fertilizante a base de potasio fueron iguales estadísticamente difiriendo del testigo que alcanzó el menor rendimiento (Figura 16).

Todos los tres tratamientos reportaron valores adecuados en sus concentraciones de potasio en el tejido foliar de acuerdo con lo reportado por Mills y Jones (1996), estos valores fueron de 1.33 a 1.36 % (Figura 17).

La paja absorbe la mayor cantidad de potasio en comparación con el grano, coincidiendo con Castellanos *et al.* (2000). Cuando se utiliza sulfato de potasio hay una mayor absorción de K en el grano en comparación con el cloruro de potasio. En la paja sucede lo contrario existe una mayor absorción de K utilizando cloruro de potasio

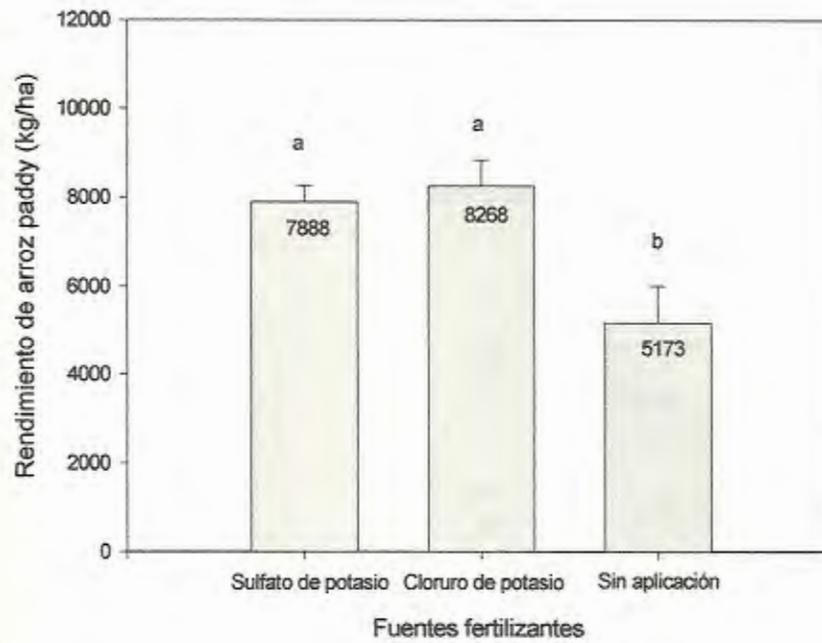


Figura 16. Efecto de la aplicación de dos fuentes de potasio sobre el rendimiento de arroz paddy. Nobol, 2006.

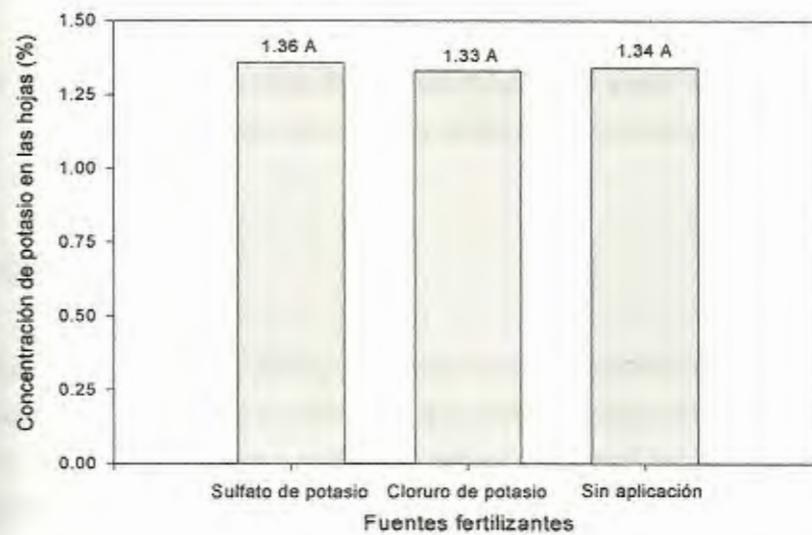


Figura 17. Efecto de la aplicación de dos fuentes de potasio sobre la concentración de este en las hojas de arroz. Nobol, 2006.

con relación a la fuente sulfato de potasio (Figura 18). Una tonelada de arroz paddy de acuerdo a este estudio extrae del suelo 23.80 kg de potasio utilizando sulfato de amonio; 21.55 kg utilizando cloruro de potasio y 17.16 solo con el potasio nativo del suelo (sin adicionar potasio) valores inferiores a lo reportado por INPOFOS (s.a.) quien da a conocer 26.2 kg N extraído/ tonelada de grano cosechado.

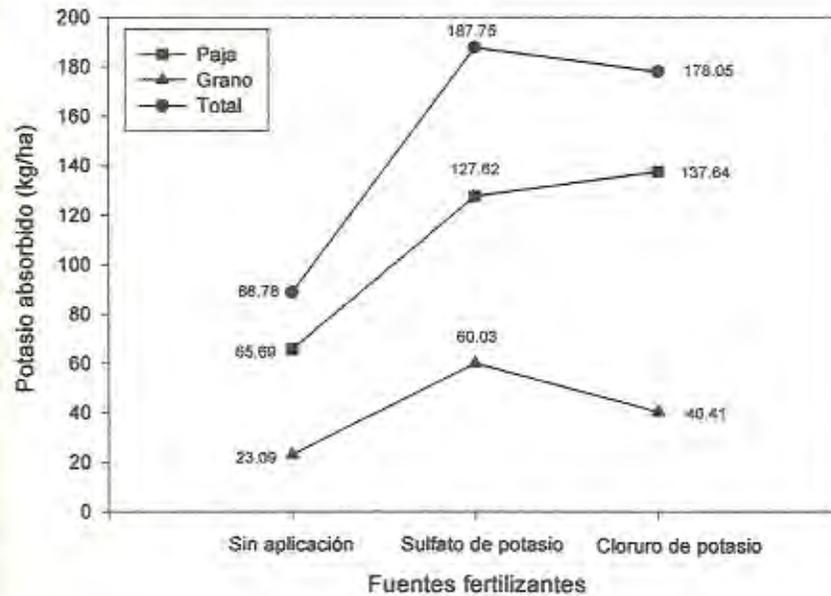


Figura 18. Efecto de la aplicación de dos fuentes de potasio sobre la cantidad de potasio absorbido por la paja y grano de arroz. Nobol, 2006.

4.4.4. Eficiencias

La eficiencia agronómica (EA) y de recuperación (ER) se presenta en el Cuadro 5. Considerando el contenido de nitrógeno del suelo se obtuvo una eficiencia agronómica de 28 y 38 kg/kg para urea y sulfato de amonio, respectivamente; en la eficiencia de recuperación utilizando fertilizante urea se obtuvo una EA de 57% y una ER de 78% para el fertilizante sulfato de amonio, es decir, que el sulfato de amonio fue más eficiente que el fertilizante urea coincidiendo con los estudios de Carrillo de Cori *et al.* (1992).

Sin considerar el contenido de nitrógeno del suelo se tiene una EA de 34 kg/kg para el fertilizante urea y 46 kg/kg para el sulfato de amonio. La ER presentó valores de 68 y 94% para urea y sulfato de amonio, respectivamente (Cuadro 5). Estos valores están prácticamente dentro de los intervalos presentados por Baligar y Fagueria (1997), quienes reportan valores de eficiencia agronómica de de 35 a 51 kg/kg en suelos con fertilidad media y de 37 a 51 kg/kg en suelos con fertilidad alta; mientras que en la eficiencia de recuperación los valores van de 30 a 83% en suelos con fertilidad media y de 56 a 99 en suelos con fertilidad alta. Por otra parte, de acuerdo con Witt *et al.* (1999) estos valores son óptimos para el caso de la EA (≥ 20 kg de grano/ kg N).

Cuadro 5. Eficiencia agronómica y de recuperación de N mediante la utilización de dos fuentes fertilizantes. Nobol, 2006.

Fuentes	Eficiencia agronómica (kg/kg)		Eficiencia de recuperación (%)	
	Considerando el contenido de N en el suelo ^{1/}	Sin considerar el contenido de N en el suelo	Considerando el contenido de N en el suelo ^{1/}	Sin considerar el contenido de N en el suelo
Urea	28	34	57	68
Sulfato de amonio	38	46	78	94

M. 12 ppm de nitrógeno y 1 g/cm³ de densidad aparente según análisis de suelo.

Utilizando el modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización descrito por Volke *et al.* (1998), con una meta de rendimiento de 8.000 kg/ha de arroz paddy y la eficiencia de recuperación del fertilizante (57% urea y 78% sulfato de amonio), se tiene una dosis de 269 kg N/ha (585 kg de urea/ha), mientras que cuando se fertiliza con sulfato de amonio la cantidad de nitrógeno es de 197 kg/ha (338 kg de sulfato de amonio/ha). Como se observa estas cantidades son muy altas con relación a los 120 kg N/ha que viene recomendando el INIAP (2005).

Para el caso de P y K no fue práctico medir la eficiencia de estos elementos debido a que no se encontró respuesta. En futuros trabajos donde se mida eficiencia será necesario mediciones a nivel de invernadero y trabajos de mayor precisión en el campo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones:

- El mejor rendimiento se alcanzó con 200 kg N/ha.
- Económicamente los tratamientos conformados por 160 y 200 kgN/ha fueron los mejores, en comparación con los 120 kgN que se venían recomendando.
- Considerando la fertilidad del suelo, se obtuvo una eficiencia agronómica de nitrógeno de 28 y 38 kg/kg para urea y sulfato de amonio, respectivamente; y una eficiencia de recuperación de 57 y 78% para urea y sulfato de amonio, en su orden.
- Utilizando el modelo de balance nutrimental y con una meta de rendimiento de 8.000 kg de arroz paddy, se obtiene una dosis de 269 kg N/ha con el fertilizante urea y 197 kg N/ha con sulfato de amonio.
- No hubo respuesta en los experimentos con dosis crecientes de fósforo y potasio.
- Los fertilizantes sulfato de amonio y la urea fueron similares estadísticamente en cuanto al rendimiento de arroz paddy.
- El superfosfato triple superó en rendimiento a la fuente de fosfato diamónico.
- El sulfato de potasio tuvo similar efecto en el rendimiento de arroz paddy con respecto al cloruro de potasio.
- La determinación del elemento absorbido es un diagnóstico nutrimental más completo con relación al análisis foliar de rutina.
- No se pudo medir eficiencias de los elementos P y K debido a la no respuesta del cultivo a los fertilizantes empleados.

5.2. Recomendaciones:

En las recomendaciones de fertilización generadas por el método de balance se debería considerar previamente un análisis económico para determinar si la dosis de nitrógeno a emplearse es económicamente rentable.

Realizar experimentos sobre:

- Dosis crecientes de nitrógeno con otras fuentes de este elemento.
- Revestimiento de la urea con ácidos húmicos y otros componentes orgánicos con el fin de aumentar la eficiencia de este fertilizante.
- Épocas de aplicación de fertilizantes.
- Medición de eficiencias especialmente con P y K, a nivel de invernadero y mediante técnicas experimentales de mayor precisión a nivel de campo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE E., F; MESTANZA S. 1998. Manual del cultivo de arroz. INIAP – FENARROZ – GTZ. Ecuador. 91 p.
- BALIGAR, V. C.; FAGUERIA, N. K. 1997. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant ue efficiency. *In*: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGUERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A.; CANTARELLA, H. (Eds.) *Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production*. Campinas: SBCS, pp. 75 – 95.
- BERTSCH, H. F. 2003. Absorción de nutrientes por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 1era. Edición. San José de Costarrica. p. 29.
- CARRILLO DE CORÍ, C. E.; CASANOVA, O. E.; RICO, G. 1992. Balance de nitrógeno en arroz de riego en un vertisol del Estado Guarico. *Agronomía Tropical*. 42(1-2): 67-84.
- CASTELLANOS, J.Z.; UVALLE-BUENO, J. X.; AGUILAR-SANTELISES, A. 2000. Memoria del curso sobre interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP. México. Edo de México. p. 67.
- CIMMYT, 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Edición completamente revisada. México D.F. 78 p.
- DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA DE SUELOS s.a. El nitrógeno en el cultivo de arroz. Disponible en <http://www.chasque.net/microlab/LMSCI/Difusión/nitrógenocultivoarroz.htm> (Revisado en noviembre 29 de 2006).
- FAGERIA, N. K. 1992. *Maximizing crop yield*. New York: Marcel Dekker. 274 p.
- FAGUERIA, N. K. 1999. Adubacao e calagem. *In*: *A cultura do arroz no Brasil*. Regina N. Baeta dos Santos A. Pacheco, E. (eds.) EMBRAPA. Santo Antonio de Goiás, GO. Brasil. pp. 337-338.

- FINK, A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Editorial Reverté. México. pp. 42-43.
- HAVLING, J. L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W.L. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Sixth edition. Prentice Hall. pp. 214 - 215.
- HEADY, E. and DILLON, J. L. 1961. Agricultural production functions. Iowa State University Press. Ames. Iowa.
- HOBT, H. 1984. Sólo ensayos a largo plazo dan información fidedigna. INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO (INPOFOS) Editorial INPOFOS. Bern-Worblaufen, Suiza. 20 p.
- INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO (INPOFOS). 1993. El diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Editorial INPOFOS. Quito, Ecuador. pp. 32-41.
- INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO (INPOFOS). 1994. Potasa. Su necesidad y uso en la Agricultura Moderna. Editorial INPOFOS. Quito, Ecuador. pp. 21-23.
- INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO (INPOFOS). (s.a.) Requerimientos nutricionales de los cultivos. Archivo agronómico No. 3. 4pp.
- INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, 2005. Inventario Tecnológico del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. INIAP. EE. Boliche. (Documento interno). p. 7.
- KASS, D. C. 1996. Fertilidad de suelos. Universidad Estatal a Distancia. San José de Costa Rica. P. 210.
- LAINEZ, J. 1984. Como tomar muestras de suelo y foliar para el análisis químico en cualquier cultivo. INIAP Boliche. Ecuador. 20 p.

- LOPEZ R. J; LOPEZ M. J. 1978. El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Editorial Mundi - Prensa. Madrid, España. 61-69, 94-120, 129-134 pp.
- MILLS, A. H. and JONES, J. B. 1986. Plant analysis handbook II. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Macro Publishing. Georgia. USA. p. 189.
- NAVARRO G. 2000. Química Agrícola. Editorial Mundi Prensa. Madrid. España. 75-82, 96-104, 108-115, 119-123, 135-142 pp.
- PLASTER E. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Paraninfo. Madrid. España. 192-209, 213-221, 227-235 pp.
- REBOLLEDO, H. H. 1999. Estimación de modelos de regresión a experimentos de fertilización y obtención de dosis óptimas económicas de insumos agrícolas. Universidad Autónoma de Chapingo. México. pp. 1 y 2.
- RODRIGUEZ, J. S. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. Chile. p. 23.
- SODIMAC. s.a. Los fertilizantes fosfatados. Disponible en www.sodimac.com (revisado en marzo 21 de 2007).
- SUAREZ, A. 1994. Manual de técnicas de muestreo foliar para recomendación de fertilización. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (F.H.I.A). La Lima, Cortés, Honduras. p. 36.
- TSDALE, S. L. y NELSON, W. L. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Traducido del inglés al español por Jorge Balasch.. Grupo Noriega Editores UTEHA. México, D.F. p. 184
- BRUTIA, V. 2005. Curso de análisis económico para investigadores agropecuarios. PROMSA-INIAP. E. E. T. Pichilingue. Quevedo, Ecuador. p. 56.
- VOLKE, H. V. 1981. Estimación de funciones de producción mediante regresión en experimentos con fertilizantes y densidad de plantas, con fines de

determinación de óptimos económicos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

VOLKE, H. V.; ETCHEVERS, J. B.; SANJUAN, R. A.; SILVA, P. T. 1998. Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. In: Revista Terra. Volumen 16. No. 1. Chapingo, México. pp. 79 -91.

WITT, C.; DOBERMANN, A.; ABDULRACHMAN, S, GINES, H.C.; WANG, G.H.; NAGARAJAN, R.; SATAWATHANANONT, S.; SON, TT.T, TAN, P.S.; TIEM, L.V.; SIMBAHAN, G.C. OLK, D.C. 1999. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. *Field crops Res*, 63:113-138.

YOSHIDA, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Research Institute. Philippines. 269 pp.

desta
Mexi
VOUJE, H.
deland
culivo
WTT, C.
NAGAI
SIS
YOSHIDA
Insta

MEMORANDUM
TO THE DIRECTOR
FROM THE ASSISTANT DIRECTOR
SUBJECT: [Illegible]

ANEXOS

EXPERIMENTO CON NIVELES NITRÓGENO

Cuadro 1A. Análisis de la varianza de la variable altura de planta obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	672.69526667	84.08690833	6.05**	0.0014
Repetición	3	249.49738333	83.16579444	5.98**	0.0069
Tratamiento	5	423.19788333	84.63957667	6.09**	0.0029
Error experimental	15	208.53511667	13.90234111		
Total	23	881.23038333			
Promedio general = 95.04 cm					
C.V. (%) = 3.92					

** Altamente significativo (α 0.01)

Cuadro 2A. Análisis de la varianza de la variable número de macollos/m² obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	52734.33333333	6591.79166667	8.18**	0.0003
Repetición	3	45845.50000000	15281.83333333	18.96**	0.0001
Tratamiento	5	6888.83333333	1377.76666667	1.71 ^{N.S.}	0.1931
Error experimental	15	12089.50000000	805.96666667		
Total	23	64823.83333333			
Promedio general = 276.41 macollos/m ²					
C.V. (%) = 10.27					

** Altamente significativo (α 0.01); N.S. = No Significativo

Cuadro 3A. Análisis de la varianza de la variable número de panículas/m² obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	52566.66666667	6570.83333333	6.48**	0.0010
Repetición	3	42380.83333333	14126.94444444	13.94**	0.0001
Tratamiento	5	10185.83333333	2037.16666667	2.01 ^{N.S.}	0.1354
Error experimental	15	15201.16666667	1013.41111111		
Total	23	67767.83333333			
Promedio general = 242.91 panículas/m ²					
C.V. (%) = 13.10					

** Altamente significativo (α 0.01); N.S. = No Significativo

Cuadro 4A. Análisis de la varianza de la variable longitud de panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F *C*	Pr > F
Modelo	8	17.43053333	2.17881667	2.75*	0.0436
Repetición	3	5.03020000	5.03020000	2.11 ^{N.S.}	0.1412
Tratamiento	5	12.40033333	12.40033333	3.13*	0.0394
Error experimental	15	11.89420000	0.79294667		
Total	23	29.32473333			
Promedio general = 24.53 cm					
C.V. (%) = 3.62					

* Significativo (α 0.05); N.S. = No Significativo

Cuadro 5A. Análisis de la varianza de la variable granos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F *C*	Pr > F
Modelo	8	2159.84000000	269.98000000	0.99 ^{N.S.}	0.4806
Repetición	3	629.50666667	209.83555556	0.77 ^{N.S.}	0.5286
Tratamiento	5	1530.33333333	306.06666667	1.12 ^{N.S.}	0.3900
Error experimental	15	4088.45333333			
Total	23	6248.29333333			
Promedio general = 138.23 granos/panícula					
C.V. (%) = 11.94					

N.S. = No Significativo

Cuadro 6A. Análisis de la varianza de la variable porcentaje de granos vanos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F *C*	Pr > F
Modelo	8	439.31628333	54.91453542	4.63**	0.0052
Repetición	3	399.47971250	133.15990417	11.22**	0.0004
Tratamiento	5	39.83657083	7.96731417	0.67 ^{N.S.}	0.6513
Error experimental	15	178.01141250	11.86742750		
Total	23	617.32769583			
Promedio general = 10.55 %					
C.V. (%) = 32.62					

** Altamente significativo (α 0.01); N.S. = No Significativo

Cuadro 7A. Análisis de la varianza de la variable peso de mil semillas obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	39.00000000	4.87500000	3.85*	0.0119
Repetición	3	4.00000000	1.33333333	1.05 ^{N.S.}	0.3983
Tratamiento	5	35.00000000	7.00000000	5.53**	0.0044
Error experimental	15	19.00000000	1.26666667		
Total	23	58.00000000			
Promedio general = 27.00 g					
C.V. (%) = 4.16					

* Significativo (α 0.05); ** Altamente significativo (α 0.01); N.S. = No Significativo

Cuadro 8A. Análisis de la varianza de la variable rendimiento (kg/ha) obtenida en el experimento con niveles crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	34374718.9999999	4296839.8749999	6.11**	0.0014
Repetición	3	10546024.7916666	703790.930555556	4.99*	0.0134
Tratamiento	5	23828694.2083333	703790.930555556	6.77**	0.0017
Error experimental	15	10556863.9583334	703790.930555556		
Total	23	44931582.9583333			
Promedio general = 6471.71 kg/ha					
C.V. (%) = 12.96					

* Significativo (α 0.05); ** Altamente significativo (α 0.01)

EXPERIMENTO CON NIVELES DE FÓSFORO

Cuadro 9A. Análisis de la varianza de la variable altura de planta obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	295.61920000	36.95240000	7.40**	0.0005
Repetición	3	195.10791667	65.03597222	13.03**	0.0002
Tratamiento	5	100.51128333	20.10225667	4.03*	0.0162
Error experimental	15	74.85358333	4.99023889		
Total	23	370.47278333			
Promedio general = 96.33 cm					
C.V. (%) = 2.31					

* Significativo (α 0.05); ** Altamente significativo ($\alpha \geq 0.01$)

Cuadro 10A. Análisis de la varianza de la variable número de macollos/m² obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	16720.66666667	2090.08333333	1.92 ^{N.S.}	0.1312
Repetición	3	5865.66666667	5288.55555556	4.86*	0.0148
Tratamiento	5	855.00000000	171.00000000	0.16 ^{N.S.}	0.9744
Error experimental	15	16315.33333333	1087.68888889		
Total	23	33036.00000000			
Promedio general = 282.50 macollos/m ²					
C.V. (%) = 11.67					

* Significativo (α 0.05); N.S. = No Significativo

Cuadro 11A. Análisis de la varianza de la variable número de panículas/m² obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	13894.00000000	1736.75000000	1.77 ^{N.S.}	0.1630
Repetición	3	12821.00000000	4273.66666667	4.35*	0.0216
Tratamiento	5	1073.00000000	214.60000000	0.22 ^{N.S.}	0.9492
Error experimental	15	14752.00000000	983.46666667		
Total	23	28646.00000000			
Promedio general = 247.50 panículas/m ²					
C.V. (%) = 12.67					

* Significativo (α 0.05); N.S. = No Significativo

Cuadro 12A. Análisis de la varianza de la variable longitud de panículas obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	9.34346667	1.16793333	2.57 ^{N.S.}	0.0550
Repetición	3	6.39773333	2.13257778	4.69*	0.0168
Tratamiento	5	2.94573333	0.58914667	1.29 ^{N.S.}	0.3176
Error experimental	15	6.82586667	0.45505778		
Total	23	16.16933333			
Promedio general = 25.16 cm					
C.V. (%) = 2.68					

* Significativo (α 0.05); N.S. = No Significativo

Cuadro 13A. Análisis de la varianza de la variable granos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	2360.84666667	295.10583333	1.58 ^{N.S.}	0.2108
Repetición	3	1042.69833333	347.56611111	1.87 ^{N.S.}	0.1789
Tratamiento	5	1318.14833333	263.62966667	1.41 ^{N.S.}	0.2749
Error experimental	15	2795.23166667	186.34877778		
Total	23	5156.07833333			
Promedio general = 147.04 granos/panícula					
C.V. (%) = 9.28					

N.S. = No Significativo

Cuadro 14A. Análisis de la varianza de la variable porcentaje de granos vanos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	477.76608333	59.72076042	8.46 ^{**}	0.0002
Repetición	3	408.36621250	136.12207083	19.29 ^{**}	0.0001
Tratamiento	5	69.39987083	13.87997417	1.97 ^{N.S.}	0.1425
Error experimental	15	105.87371250	7.05824750		
Total	23	583.63979583			
Promedio general = 10.68 %					
C.V. (%) = 24.87					

** Altamente significativo (α 0.01); N.S. = No Significativo

Cuadro 15A. Análisis de la varianza de la variable peso de mil semillas obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	6.33333333	0.79166667	1.70 ^{N.S.}	0.1798
Repetición	3	3.00000000	1.00000000	2.14 ^{N.S.}	0.1375
Tratamiento	5	3.33333333	0.66666667	1.43 ^{N.S.}	0.2704
Error experimental	15	7.00000000	0.46666667		
Total	23	13.33333333			
Promedio general = 27.66 g					
C.V. (%) = 2.46					

N.S. = No Significativo.

Cuadro 16A. Análisis de la varianza de la variable rendimiento (kg/ha) obtenida en el experimento con niveles crecientes de fósforo en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F *C"	Pr > F
Modelo	8	3388334.66666660	423541.833333333	0.68 ^{N.S.}	0.7049
Repetición	3	3126512.833333333	1042170.944444444	1.67 ^{N.S.}	0.2167
Tratamiento	5	261821.833333333	52364.366666667	0.08 ^{N.S.}	0.9938
Error experimental	15	9381449.166666673	625429.944444445		
Total	23	12769783.833333330			
Promedio general = 7892.08 kg/ha					
C.V. (%) = 10.02					

N.S. = No Significativo

EXPERIMENTO CON NIVELES DE POTASIO

Cuadro 17A. Análisis de la varianza de la variable altura de planta obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F *C"	Pr > F
Modelo	8	256.513333333	32.064166667	2.80*	0.0409
Repetición	3	223.559650000	74.519883333	6.50**	0.0049
Tratamiento	5	32.953683333	6.590736667	0.58 ^{N.S.}	0.7183
Error experimental	15	171.879050000	11.458603333		
Total	23	428.392383333			
Promedio general = 94.62 cm					
C.V. (%) = 3.57					

* Significativo (α 0.05); ** Altamente significativo (α 0.01); N.S. = No Significativo

Cuadro 18A. Análisis de la varianza de la variable número de macollos por m² obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F *C"	Pr > F
Modelo	8	9052.833333333	1131.604166667	2.88*	0.0369
Repetición	3	4669.125000000	1556.375000000	3.96*	0.0290
Tratamiento	5	4383.708333333	876.741666667	2.23 ^{N.S.}	0.1048
Error experimental	15	5891.125000000	392.741666667		
Total	23	14943.958333333			
Promedio general = 272.54 macollos/m ²					
C.V. (%) = 7.27					

* Significativo (α 0.05); N.S. = No Significativo

Cuadro 19A. Análisis de la varianza de la variable número de panículas/m² obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	4457.83333333	557.22916667	0.69 ^{N.S.}	0.6982
Repetición	3	3513.00000000	1171.00000000	1.44 ^{N.S.}	0.2702
Tratamiento	5	944.83333333	188.96666667	0.23 ^{N.S.}	0.9422
Error experimental	15	12185.50000000	812.36666667		
Total	23	16643.3333333			

Promedio general = 227.16 panículas/m²
 C.V. (%) = 12.54

N.S. = No Significativo

Cuadro 20A. Análisis de la varianza de la variable longitud de panículas (cm) obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	12.56433333	1.57054167	1.78 ^{N.S.}	0.1601
Repetición	3	6.33613333	2.11204444	2.39 ^{N.S.}	0.1093
Tratamiento	5	6.22820000	1.24564000	1.41 ^{N.S.}	0.2762
Error experimental	15	13.24286667	0.88285778		
Total	23	25.80720000			

Promedio general = 25.04 cm
 C.V. (%) = 3.75

N.S. = No Significativo

Cuadro 21A. Análisis de la varianza de la variable granos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	4876.60000000	609.57500000	1.50 ^{N.S.}	0.2377
Repetición	3	2543.63166667	847.87722222	2.08 ^{N.S.}	0.1452
Tratamiento	5	2332.96833333	466.59366667	1.15 ^{N.S.}	0.3789
Error experimental	15	6100.51833333	406.70122222		
Total	23	10977.11833333			

Promedio general = 148.29 granos/panícula
 C.V. (%) = 13.59

N.S. = No Significativo

Quadro 22A. Análisis de la varianza de la variable porcentaje de granos vanos/panícula obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	85.00031667	10.62503958	0.42 ^{N.S.}	0.8915
Repetición	3	28.52524583	9.50841528	0.38 ^{N.S.}	0.7719
Tratamiento	5	56.47507083	11.29501417	0.45 ^{N.S.}	0.8095
Error experimental	15	379.70137917	25.31342528		
Total	23	464.70169583			
Promedio general = 10.68 %					
C.V. (%) = 47.10					

N.S. = No Significativo

Quadro 23A. Análisis de la varianza de la variable peso de mil semillas (g) obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	13.00000000	1.62500000	1.36 ^{N.S.}	0.2903
Repetición	3	5.79166667	1.93055556	1.61 ^{N.S.}	0.2284
Tratamiento	5	7.20833333	1.44166667	1.20 ^{N.S.}	0.3540
Error experimental	15	17.95833333	1.19722222		
Total	23	30.95833333			
Promedio general = 27.70 g					
C.V. (%) = 3.94					

N.S. = No Significativo

Quadro 24A. Análisis de la varianza de la variable rendimiento (kg/Ha) obtenida en el experimento con niveles crecientes de potasio en arroz bajo riego. Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	8	12677727.66666660	1584715.95833333	1.22 ^{N.S.}	0.3538
Repetición	3	3950212.72222222	11850638.16666660	3.03 ^{N.S.}	0.0621
Tratamiento	5	827089.50000000	165417.90000000	0.13 ^{N.S.}	0.9840
Error exp.	15	19548958.83333330	1303263.92222222		
Total	23	32226686.50000000			
Promedio general = 7398.25 kg/ha					
C.V. (%) = 15.43					

N.S. = No Significativo

EXPERIMENTOS CON FUENTES FERTILIZANTES

Cuadro 25A. Análisis de la varianza de la variable rendimiento en kg/ha del experimento con fuentes de nitrógeno bajo riego". Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	5	67046583.33333330	13409316.66666660	7.19*	0.0162
Repetición	3	1569733.33333333	523244.44444444	0.28 ^{N.S.}	0.8377
Tratamiento	2	65476850.00000000	32738425.00000000	17.56**	0.0031
Error exp.	6	11183216.66666660	1863869.44444445		
Total	11	78229800.00000000			
Promedio general = 8370 kg/ha					
C.V. (%) = 16.31					

N.S. = No Significativo; * Significativo (α 0.05).

Cuadro 26A. Análisis de la varianza de la variable rendimiento en kg/ha del experimento con fuentes de fósforo en arroz bajo riego". Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	5	11295783.33333330	2259156.66666666	1.73 ^{N.S.}	0.2622
Repetición	3	2326966.66666667	775655.55555556	0.59 ^{N.S.}	0.6424
Tratamiento	2	8968816.66666668	4484408.33333334	3.43 ^{N.S.}	0.1018
Cont SyF vs T	1	3928504.16666668	3928504.16666668	3.00 ^{N.S.}	0.1339
Cont FyT vs S	1	8616016.66666668	8616016.66666668	6.58*	0.0426
Error exp.	6	7855783.33333336	1309297.22222223		
Total	11	19151566.66666660			
Promedio general = 5981.67 kg/ha					
C.V. (%) = 19.13					

N.S. = No Significativo; * Significativo (α 0.05).

Cuadro 27A. Análisis de la varianza de la variable rendimiento en kg/ha del experimento con fuentes de potasio en arroz bajo riego". Guayas 2006.

F. de V.	G.L.	S. C.	C. M.	F "C"	Pr > F
Modelo	5	26676158.33333330	5335231.66666666	3.13 ^{N.S.}	0.0988
Repetición	3	3883291.66666667	1294430.55555556	0.76 ^{N.S.}	0.5568
Tratamiento	2	22792866.66666670	11396433.33333330	6.68*	0.0298
Error exp.	6	10236933.33333330	1706155.55555556		
Total	11	36913091.66666660			
Promedio general = 7109.17 kg/ha					
C.V. (%) = 18.37					

N.S. = No Significativo; * Significativo (α 0.05).

Cuadro 28A. Resumen de la significancia estadística y variabilidad de algunas características agronómicas y rendimiento obtenida en el experimento sobre dosis crecientes de nitrógeno en arroz bajo riego.

F. de V.	G.L.	AP	MM	PM	LP	GLL	GV	REN	PMS	RGP
Modelo	8	**	**	**	*	N.S.	**	**	*	N.S.
Repetición	3	**	**	**	N.S.	N.S.	**	*	N.S.	N.S.
Tratamiento	5	**	N.S.	N.S.	*	N.S.	N.S.	**	**	*
C.V.		3.92	10.27	13.10	3.62	11.94	32.62	14.18	4.16	13.67
Media		95.04	276.41	242.91	24.53	138.23	10.55	6571.33	27.00	1.17
General										

* Significativo ($\alpha \geq 0.05$); ** Altamente significativo ($\alpha \geq 0.01$); N.S. = No Significativo.

Cuadro 29A. Resumen de la significancia estadística y variabilidad de algunas características agronómicas y rendimiento obtenida en el experimento sobre dosis crecientes de fósforo en arroz bajo riego.

F. de V.	G.L.	AP	MM	PM	LP	GLL	GV	REN	PMS	RGP
Modelo	8	**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	**	N.S.	N.S.	N.S.
Repetición	3	**	*	*	*	N.S.	**	N.S.	N.S.	N.S.
Tratamiento	5	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
C.V.		2.31	11.67	12.67	2.68	9.28	24.87	10.02	2.46	19.90
Media		96.33	282.50	247.5	25.16	147.04	10.68	7892.08	27.66	1.15
General				0						

* Significativo ($\alpha \geq 0.05$); ** Altamente significativo ($\alpha \geq 0.01$); N.S. = No Significativo.

Cuadro 30A. Resumen de la significancia estadística y variabilidad de algunas características agronómicas y rendimiento obtenida en el experimento sobre dosis crecientes de potasio en arroz bajo riego.

F. de V.	G.L.	AP	MM	PM	LP	GLL	GV	REN	PMS	RGP
Modelo	8	*	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Repetición	3	**	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Tratamiento	5	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
C.V.		3.57	7.27	12.54	3.75	13.59	10.68	15.43	3.94	18.08
Media		94.62	272.54	227.16	25.04	148.29	47.10	7398.25	27.70	1.25
General										

* Significativo ($\alpha \geq 0.05$); ** Altamente significativo ($\alpha \geq 0.01$); N.S. = No Significativo.

AP = Altura de planta (cm); MM = Macollos/m²; PM = Paniculas/m²; LP = Longitud de panícula (cm); GLL = Granos llenos; GV = Granos vanos (%); REN = Rendimiento (kg/ha); PMS = Peso de mil semillas (g); RGP = Relación grano-paja.

Cuadro 31A. Reporte de análisis físico-químico de suelos del sitio experimental. (Nóval, 2008)

Identificación de las muestras	pH	ppm			Meq/100 ml			ppm					
		N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Mo	
Experimento de eficiencia	6.6PN	12B	6B	0.30M	15A	6.9A	33A	1.4B	14.3B	28	16.2A	1.8B	
Experimentos sobre dosis de N, P, K.	6.6PN	9B	3B	0.29M	15A	6.8A	30A	1.4A	14.8B	28	16.2A	1.8B	

B = Bajo; M = Medio; A = Alto; PN = Prácticamente neutro.

Identificación de las muestras	Materia orgánica (%)	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	Cationes (%)				Σ Aniones
						Ca	Mg	K	Na	
Experimento de eficiencia	3.5 M	2.1	23.00	73.00	22.25	22	24	41	11	100
Experimentos sobre dosis de N, P, K.	3.8 M	2.2	23.45	75.17	22.06	22	24	41	11	100

No. de laboratorio 14273 y 14274. INIAP EE.Bolicho, 2007.

Cuadro 32A. Determinación de salinidad de extracto de pasta de suelos. (Nóval, 2008)

Identificación de las muestras	pH	C.E. dS/m	meq/L							CO ₃ H	CO ₃	HCO ₃	Cl	NO ₃	SO ₄
			N	K	Ca	Mg	SUMA								
Experimento de eficiencia	7.6	0.61	1.4	0.15	2.6	1.9	6.1	0.3	16.2	2.9	28	1.4	1.1		
Experimentos sobre dosis de N, P, K.	7.4	0.67	1.9	0.25	2.5	2.0	6.7	0.3	16.2	2.9	28	1.4	1.1		

* Cálculo efectuado según monograma de suelos salinos y sódicos Manual No. 60. INIA - INIA-Perú.

INTERPRETACIÓN:

C.E. = 0.0 - 2.0 = Suelo no salino, efecto de sales despreciables
 2.1 - 4.0 = Suelo ligeramente salino, puede reducirse la cosecha de cultivos sensibles
 4.1 - 8.0 = Suelo salino, se reducen las cosechas de numerosos cultivos
 Más de 8 = Suelo muy salino

No. de laboratorio 14273 y 14274. INIAP EE.Bolicho, 2007.

Cuadro 33A. Determinación de capacidad de intercambio catiónica. (Nóval, 2008)

Identificación de las muestras	Meq/100 mL					
	Na	K	Ca	Mg	Suma	CIC
Experimento de eficiencia	1.35	0.87	27.8	16.3	46.1	46.1
Experimentos sobre dosis de N, P, K.	1.34	0.85	27.0	16.0	45.2	45.2

Extractante: Acetato de Amonio 1N (K, Ca, Mg, Na)

INTERPRETACIÓN: CIC

B: Baja -5
 M: Media 5-25
 A: Alta +25

No. de laboratorio 14273 y 14274. INIAP EE.Bolicho, 2007.

Cuadro 34A. Resultados del ensayo de suelo sobre el contenido de nutrientes en los experimentos con soja (cultivos de A. F. O. y A. C. Abril 2006).

Tratamientos	Nutrientes		
	N	P	K
0 kg N/ha I	2.7 A	0.27 E	1.28 A
40 kg N/ha I	3.0 A	0.28 E	1.28 A
80 kg N/ha I	2.8 A	0.29 E	1.28 A
120 kg N/ha I	3.0 A	0.28 E	1.26 A
160 kg N/ha I	2.9 A	0.28 E	1.27 A
200 kg N/ha I	3.3 E	0.27 E	1.31 A
0 kg N/ha II	2.6 A	0.25 E	1.25 A
40 kg N/ha II	2.6 A	0.27 E	1.26 A
80 kg N/ha II	2.6 A	0.25 E	1.26 A
120 kg N/ha II	2.7 A	0.25 E	1.27 A
160 kg N/ha II	2.8 A	0.25 E	1.30 A
200 kg N/ha II	2.9 A	0.26 E	1.29 A
0 kg N/ha III	2.5 D	0.27 E	1.28 A
40 kg N/ha III	2.7 A	0.26 E	1.29 A
80 kg N/ha III	2.5 D	0.25 E	1.27 A
120 kg N/ha III	2.6 A	0.27 E	1.28 A
160 kg N/ha III	2.7 A	0.27 E	1.32 A
200 kg N/ha III	2.8 A	0.28 E	1.29 A
0 kg P ₂ O ₅ /ha I	2.8 A	0.29 E	1.28 A
20 kg P ₂ O ₅ /ha I	2.8 A	0.30 E	1.33 A
40 kg P ₂ O ₅ /ha I	2.9 A	0.30 E	1.28 A
60 kg P ₂ O ₅ /ha I	3.0 A	0.30 E	1.31 A
80 kg P ₂ O ₅ /ha I	2.9 A	0.31 E	1.32 A
100 kg P ₂ O ₅ /ha I	3.0 A	0.30 E	1.29 A
0 kg P ₂ O ₅ /ha II	3.0 A	0.25 E	1.30 A
20 kg P ₂ O ₅ /ha II	3.0 A	0.29 E	1.30 A
40 kg P ₂ O ₅ /ha II	2.9 A	0.29 E	1.37 A
60 kg P ₂ O ₅ /ha II	2.9 A	0.27 E	1.30 A
80 kg P ₂ O ₅ /ha II	2.9 A	0.29 E	1.30 A
100 kg P ₂ O ₅ /ha II	3.0 A	0.27 E	1.32 A
0 kg P ₂ O ₅ /ha III	2.9 A	0.27 E	1.29 A
20 kg P ₂ O ₅ /ha III	3.0 A	0.25 E	1.26 A
40 kg P ₂ O ₅ /ha III	3.1 A	0.28 E	1.35 A
60 kg P ₂ O ₅ /ha III	2.8 A	0.27 E	1.34 A
80 kg P ₂ O ₅ /ha III	2.9 A	0.28 E	1.30 A
100 kg P ₂ O ₅ /ha III	3.0 A	0.28 E	1.40 A
0 kg K ₂ O/ha I	2.9 A	0.31 E	1.45 A
40 kg K ₂ O/ha I	2.9 A	0.30 E	1.38 A
80 kg K ₂ O/ha I	3.0 A	0.31 E	1.36 A
120 kg K ₂ O/ha I	3.0 A	0.29 E	1.30 A
160 kg K ₂ O/ha I	2.9 A	0.31 E	1.31 A
200 kg K ₂ O/ha I	3.0 A	0.29 E	1.34 A
0 kg K ₂ O/ha II	2.9 A	0.29 E	1.34 A
40 kg K ₂ O/ha II	2.9 A	0.29 E	1.34 A
80 kg K ₂ O/ha II	2.9 A	0.30 E	1.34 A
120 kg K ₂ O/ha II	2.9 A	0.29 E	1.42 A
160 kg K ₂ O/ha II	3.0 A	0.28 E	1.36 A
200 kg K ₂ O/ha II	3.0 A	0.28 E	1.65 A
0 kg K ₂ O/ha III	2.8 A	0.26 E	1.34 A
40 kg K ₂ O/ha III	2.8 A	0.27 E	1.35 A
80 kg K ₂ O/ha III	3.0 A	0.25 E	1.35 A
120 kg K ₂ O/ha III	3.0 A	0.25 E	1.34 A
160 kg K ₂ O/ha III	2.6 A	0.27 E	1.38 A
200 kg K ₂ O/ha III	2.7 A	0.27 E	1.31 A

INTERPRETACIÓN: D = Deficiente; A = Adecuado; E = Excesivo.
No. de laboratorio 7639 - 7686. INIAP EE. Boliche, 2007.

Cuadro 35A. Peso seco de grano y paja y análisis foliar de macro-elementos del experimento sobre eficiencias. Nobol, 2006.

Identificación	Peso seco ^{1/} (g)	(%)				
		N	P	K	Ca	Mg
Paja testigo	59.5	0.64	0.093	1.38	0.51	0.15
Paja sulfato de amonio	98.2	0.80	0.081	2.46	0.47	0.20
Paja urea	86.0	0.60	0.054	2.07	0.47	0.16
Paja Super fosfato triple	73.8	0.70	0.110	2.17	0.36	0.14
Paja D.A.P	47.4	0.67	0.100	1.95	0.36	0.12
Paja muriato de potasio	66.6	0.61	0.060	2.01	0.34	0.11
Paja sulfato de potasio	86.7	0.70	0.090	1.84	0.40	0.13
Grano testigo	74.0	1.10	0.24	0.39	0.11	0.11
Grano sulfato de amonio	142.6	1.56	0.25	0.41	0.11	0.12
Grano urea	138.4	1.34	0.26	0.47	0.11	0.13
Grano superfosfato triple	114.1	1.18	0.29	0.48	0.11	0.14
Grano D.A.P.	85.6	1.05	0.25	0.45	0.11	0.12
Grano muriato potasio	114.8	1.15	0.23	0.44	0.13	0.11
Grano sulfato de potasio	113.7	1.21	0.28	0.66	0.17	0.14

^{1/} Dos plantas.

No. de laboratorio 7700 - 7713. INIAP EE.Bolicho, 2007.

LABORES DE CAMPO



Foto 1A. A) Preparación del semillero (INIAP – 14), se adicionó ceniza de tamo de arroz sobre terreno fangueado bien nivelado. B) Se colocó la semilla y luego fue cubierta por otra capa fina de ceniza. C) plántulas de 7 días de edad después de la siembra. D) Semillero o almacigo de 14 días después de la siembra. Fotos de Dra. Martha Mora G.



Foto 2A. A) Máquina fangueadora, después de esa labor se procedió a medir el terreno para limitar el área de trabajo. B) Se construyeron muros para el manejo del agua y se procedió a nivelar el suelo con una tabla. Fotos de Dra. Martha Mora G.



Foto 3A. A) Efectuando labor de transplante, se colocaron tres plántulas a distancias de 25 x 25 cm. B) Terreno transplantado. Fotos de Dra. Martha Mora G.



Foto 4A. A) Fertilización del cultivo se realizó la primera a los 10 días de transplante, y la segunda aplicación a los 15 días después de la primera. B) Cultivo de 24 días de edad. Fotos de Dra. Martha Mora G.



Foto 5A. A) Parcelas demostrativas del cultivo de arroz con 75 días de edad. B) Floración del cultivo (92 días). Fotos de Dra. Martha Mora G.



Foto 6A. A) Etapa de llenado de grano, 98 días de edad del cultivo. B) Cultivo con 107 días de edad (maduración del grano). Fotos de Dra. Martha Mora G.



Foto 7A. A) Cosecha de arroz (17 de noviembre del 2006). B) Corte de la variedad INIAP - 14 y recolección de muestras. Fotos de Dra. Martha Mora G

