

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“RESPUESTA DE FUENTES Y NIVELES DE NITRÓGENO EN EL
CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN CONDICIONES DEL
VALLE CHANCAY, LAMBAYEQUE”**

Presentada por:

MIRTA CORTEGANA VARGAS

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

Lima – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA

**“RESPUESTA DE FUENTES Y NIVELES DE NITRÓGENO EN EL
CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN CONDICIONES DEL
VALLE CHANCAY, LAMBAYEQUE”**

Presentada por:
MIRTA CORTEGANA VARGAS

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Mg. Sc. Braulio La Torre Martínez
PRESIDENTE

Ing. Mg. Sc. Elizabeth Heros Aguilar
ASESORA

Dr. Jorge Jiménez Dávalos
MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Elías Huanuqueño Coca
MIEMBRO

Lima - Perú

2017

DEDICATORIA

A Dios por darme sabiduría, fe y esperanza; por ser mi guía y cuidarme todo estos largos años de vida, en especial mi vida universitaria que siempre lo recordare como la mejor etapa, por haberme puesto en mi camino personas que han sido mi soporte y mi compañía.

A mis padres, José CORTEGANA ZUTA y Justina VARGAS VALQUI por el apoyo incondicional, tanto económico como moral, por los buenos valores que me fueron inculcados, por ser ejemplo de padres, por su enorme esfuerzo para hacer posible mis sueños y de mi familia.

A mis hermanos: Deyci, Irma, Marleny y Elmer, por los consejos y la confianza que depositaron en mi persona, por hacerme ver que soy capaz de realizar mis sueños a pesar de los obstáculos que tuvimos que afrontar.

A mi novio Neycer Muñoz por su amor, su confianza y motivación para alcanzar esta importante logro en mi vida profesional.

A mis sobrinos por ser la alegría de mi vida y fuente de inspiración para lograr mis metas.

A mis tíos, primos y demás familiares, por su motivación y ser parte de este gran esfuerzo durante estos años de mi carrera.

A mis amigos y compañeros de clase, con los cuales compartimos bellos y gratos momentos, los cuales han dejado huella en mi vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, por mi formación profesional en estos años; a sus docentes, quienes han demostrado durante este periodo su profesionalismo y calidad humana, compartiendo sus conocimientos y aptitudes con el estudiantado, generando en nosotros ganas de superarnos día a día, y al Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos, por brindarnos el laboratorio donde se realizaron las evaluaciones.

Al Programa Nacional de Innovación Agraria – PNIA, por el apoyo económico.

Al INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria), Estación Vista Florida, Lambayeque, por brindarnos una parte de sus campos para el desarrollo de la presente tesis.

A la Ms. Sc. Elizabeth Heros Aguilar, asesora de la presente tesis, por sus orientaciones, consejos y amistad.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL ARROZ.....	4
2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	6
2.3 MORFOLOGÍA	7
2.3.1 Órganos vegetativos	7
2.3.2 Órganos reproductores.....	8
2.4 CRECIMIENTO Y DESARROLLO	9
2.5 SISTEMAS DE SIEMBRA.....	10
2.6 IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE ARROZ.....	11
2.6.1 Requerimientos de nitrógeno del cultivo de arroz.....	12
2.6.2 Absorción de nitrógeno	13
2.7 PROCESOS MÁS IMPORTANTES DE PÉRDIDAS DE NITRÓGENO.....	14
2.7.1 Pérdidas por volatilización de amoníaco.....	14
2.7.2 Pérdidas por lixiviación.....	15
2.7.3 Desnitrificación	16
2.8 ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LAS PÉRDIDAS DE NITRÓGENO E INCREMENTAR EL RENDIMIENTO	17
2.8.1 Uso de fertilizantes de lenta o controlada liberación.....	17
2.8.2 Fertilizantes con inhibidores de la nitrificación y la ureasa.	18
2.9 FUENTES NITROGENADAS	19
2.9.1 Urea común.....	19
2.9.2 Inhibidor de la ureasa (urea granular azul).....	20
2.9.3 Inhibidor de la nitrificación (novatec solub 45)	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL EXPERIMENTO.....	22
3.2 CARACTERÍSTICAS DE CLIMA Y SUELO.....	22
3.3 MATERIALES Y EQUIPOS	23
3.3.1 Material genético	23

3.3.2	Materiales de campo.....	24
3.4	METODOLOGÍA	25
3.4.1	Factores estudiados:.....	25
3.4.2	Diseño de tratamientos	25
3.5	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	25
3.5.1	Especificación del experimento.....	26
3.5.2	Croquis del campo experimental	26
3.6	MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	27
3.6.1	Toma de muestras del suelo y preparación del terreno.	27
3.6.2	Preparación de la semilla y manejo del almacigo.....	27
3.6.3	Trasplante a campo definitivo	27
3.7	VARIABLES EVALUADAS	29
3.7.1	Rendimiento.....	29
3.7.2	Materia seca.....	29
3.7.3	Altura de planta a la cosecha (cm).....	29
3.7.4	Longitud de panícula (cm).....	30
3.7.5	Componentes de rendimiento	30
3.7.6	Características biométricas del grano	30
3.7.7	Índice de cosecha.....	30
3.7.8	Acumulación de nitrógeno.....	31
3.7.9	Calidad molinera.....	31
3.7.10	Índice de translucencia.....	31
3.7.11	Proteína en grano pilado	32
3.7.12	Determinación de la eficiencia de uso de Nitrógeno.	32
3.7.13	Calidad culinaria.....	32
3.7.14	Grado de dispersión alcalina.....	33
3.7.15	Análisis económico.....	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
4.1	RENDIMIENTO	35
4.2	MATERIA SECA.....	39
4.3	ALTURA DE PLANTA A LA COSECHA.....	42
4.4	LONGITUD DE PANÍCULA.....	42
4.5	COMPONENTES DEL RENDIMIENTO	43
4.6	CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DEL GRANO	48

4.7	ÍNDICE DE COSECHA	49
4.8	ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO (GRANOS + PAJA) A LA COSECHA...	51
4.9	CALIDAD MOLINERA	53
4.10	ÍNDICE DE TRASLUSCENCIA	53
4.11	PROTEÍNA EN GRANO PILADO	54
4.12	DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS DE USO DE NITRÓGENO	55
4.13	CALIDAD CULINARIA	59
4.14	GRADO DE DISPERSIÓN ALCALINA	60
4.15	RESUMEN DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	61
4.16	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	64
4.16.1	Análisis de presupuesto parcial	64
4.16.2	Análisis de Dominancia.....	65
4.16.3	Tasa de Retorno Marginal.	65
V.	CONCLUSIONES.....	68
VI.	RECOMENDACIONES	69
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	70
VIII.	ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Contenido nutricional de variedades de arroz	5
Cuadro 2: Composición en 100 g de Arroz	6
Cuadro 3: Temperatura y radiación solar durante la conducción del experimento. EEVF, 2016-I.....	22
Cuadro 4: Análisis de suelo de la Estación Experimental Vista Florida, Lambayeque	23
Cuadro 5: Combinación de tratamientos	25
Cuadro 6: Cantidad de fertilizante aplicado por subparcelas por fuentes y niveles de N al 50%. EE.VF-2016-I.....	28
Cuadro 7: Rendimientos alcanzados en t ha ⁻¹ , en fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016-I.....	36
Cuadro 8: Materia seca en tres etapas vegetativas del cultivo para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I.	40
Cuadro 9: Altura de planta en cm, para fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF, 2016-I.....	42
Cuadro 10: Longitud de panícula en cm, para fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016-I.....	43
Cuadro 11: Componentes del rendimiento para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I.....	44
Cuadro 12: Coeficiente de correlación múltiple (r) y coeficiente de determinación (R ²) entre rendimiento y componentes del rendimiento para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I.....	44
Cuadro 13: Características biométricas del grano para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I.....	48
Cuadro 14: Índice de cosecha en %, en fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016-I.....	50
Cuadro 15: Acumulación de nitrógeno, para fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016-I.....	51
Cuadro 16: Calidad molinera para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I	53
Cuadro 17: Índice de Traslucencia, para fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016 ⁽¹⁾	54
Cuadro 18: Contenido de proteína en arroz pilado, para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	55

Cuadro 19: Eficiencia agronómica, fisiológica y de uso de nitrógeno para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I.	57
Cuadro 20: Calidad culinaria para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I.	60
Cuadro 21: Grado de dispersión alcalina, para fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016-I.....	60
Cuadro 22: Resumen de la significancia estadística de 28 variables obtenidas en el experimento: “Respuesta de fuentes y niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.) En condiciones del valle chancay, Lambayeque”	62
Cuadro 23: Resumen de la significancia estadística de las eficiencias de uso del nitrógeno obtenidos en el experimento: “Respuesta de fuentes y niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.) En condiciones del valle chancay, Lambayeque”	64
Cuadro 24: Resumen de la significancia estadística del rendimiento en grano obtenido en el experimento: “Respuesta de fuentes y niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.) En condiciones del valle chancay, Lambayeque”	64
Cuadro 25: Análisis de presupuesto parcial para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	66
Cuadro 26: Análisis de Dominancia para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I ..	67
Cuadro 27: Análisis Marginal para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fenología del cultivo de arroz.....	10
Figura 2. Esquema de la molécula inhibidora de la nitrificación	21
Figura 3. Rendimiento de arroz en cáscara para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I	35
Figura 4. Productividad parcial para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	38
Figura 5. Materia seca al máximo macollamiento, inicio del primordio floral y a la cosecha para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	40
Figura 6. Correlación del rendimiento y materia seca a la cosecha para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	41
Figura 7. Correlación del rendimiento e índice de cosecha para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	41
Figura 8. Gráfica de matriz Rendimiento versus número de panículas por m ² , número de granos llenos por panícula y peso de mil granos	45
Figura 9. Análisis de correlación múltiple del rendimiento en grano con los componentes del rendimiento para urea común. EEVF, 2016-I	46
Figura 10. Análisis de correlación múltiple del rendimiento en grano con los componentes del rendimiento para el inhibidor de la ureasa. EEVF, 2016-I.....	46
Figura 11. Análisis de correlación múltiple del rendimiento en grano con los componentes del rendimiento para el inhibidor de la nitrificación. EEVF, 2016-I	46
Figura 12. Comportamiento del índice de cosecha para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF-2016-I.	49
Figura 13. Acumulación de N a la cosecha para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	51
Figura 14. Correlación entre acumulación de nitrógeno y materia seca a la cosecha entre fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	52
Figura 15. Porcentaje de proteína en grano pilado para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	54
Figura 16. Eficiencia agronómica (kilogramos de arroz producido por kilogramo de nitrógeno aplicado, para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	56
Figura 17. Eficiencia fisiológica (kilogramos de arroz producido por kilogramo de nitrógeno absorbido), para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	56

Figura 18. Eficiencia de uso de nitrógeno o eficiencia de recuperación, para tres fuentes y cuatro niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.....	57
Figura 19. Número de panículas m ⁻² para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I..	97
Figura 20. Fig.20. Número de granos llenos por panículas para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.	97
Figura 21. Peso de mil granos para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.	97
Figura 22. Temperatura y Radiación durante la conducción del experimento. EEVF, 2016-I.....	98
Figura 23. Construcción de bordos.....	98
Figura 24. Trasplante a campo definitivo.....	98
Figura 25. Voleo del herbicida granular Saturno (Bentiocarb).	98
Figura 26. Control sanitario.....	99
Figura 27. Voleo de fertilizante urea.	99
Figura 28. Muestras para materia seca.	99
Figura 29. Arroz en etapa de maduración.....	99
Figura 30. Molino de prueba.	99
Figura 32. Vernier para medir granos.....	99
Figura 31. Calidad culinaria.	100
Figura 33. Dispersión alcalina.	100

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para rendimiento (kg/parcela) obtenido en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I	79
Anexo 2: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para materia seca (g m^{-2}) obtenido en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	79
Anexo 3: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para materia seca (g m^{-2}) al inicio del primordio floral obtenido en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	80
Anexo 4: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para materia seca (g m^{-2}) a la cosecha en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I	80
Anexo 5: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para altura de planta (cm) a la cosecha en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.	81
Anexo 6: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para Longitud de panícula (cm) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.	81
Anexo 7: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para número de panícula por m^2 en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.	82
Anexo 8: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para número de granos llenos por panícula en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.	82
Anexo 9: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para peso de mil granos (g) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	83
Anexo 10: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para longitud de grano (mm) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	83
Anexo 11: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para ancho de grano (mm) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	84
Anexo 12: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para espesor de grano (mm) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	84
Anexo 13: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para índice de cosecha (%) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	85
Anexo 14: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para acumulación de nitrógeno (kg ha^{-1}) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	85
Anexo 15: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para rendimiento de molinería (%) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.	86
Anexo 16: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para porcentaje de granos enteros en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.	86

Anexo 17: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para porcentaje de granos quebrados en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.	87
Anexo 18: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para índice de traslucencia en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	87
Anexo 19: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para proteína (%) en arroz pilado para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	88
Anexo 20: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para Eficiencia Agronómica (kg arroz producido/kg N aplicado) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.	88
Anexo 21: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para Eficiencia Fisiológica (kg arroz producido/kg N absorbido) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	89
Anexo 22: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para Eficiencia de Uso de Nitrógeno (%) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	89
Anexo 23: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para índice de expansión del grano cocido (%) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016 ⁽¹⁾	90
Anexo 24: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para volumen de agua a la cocción (ml) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.	90
Anexo 25: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para tiempo de cocción (min.) para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.....	91
Anexo 26: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para grado de dispersión alcalina en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.	91
Anexo 27: Resumen promedio de todas las variables evaluadas por fuentes y niveles de nitrógeno y su respectiva desviación estándar. EEVF 2016-I.	93

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Estación Experimental Vista Florida del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lambayeque, durante la campaña 2016-I. El objetivo fue desarrollar alternativas de fertilización nitrogenada en el cultivo de arroz para aumentar la productividad y rentabilidad. Las fuentes nitrogenadas usadas fueron: urea común, inhibidor de la ureasa y un inhibidor de la nitrificación. Los niveles fueron: 0, 120, 240 y 360 kg N ha⁻¹. El diseño usado fue un factorial en parcelas divididas con tres repeticiones. Los resultados mostraron que no hubieron diferencias estadísticas en el rendimiento, entre las fuentes nitrogenadas estudiadas. Los niveles de nitrógeno aumentaron significativamente la materia seca y el rendimiento en grano. El máximo rendimiento (9.06 t ha⁻¹) fue obtenido con 240 kg N ha⁻¹ y la materia seca más alta (19.82 t ha⁻¹) con el nivel de 360 kg N ha⁻¹. El índice de cosecha fue altamente significativo tanto en fuentes como en niveles, obteniendo el mayor valor con la fuente inhibidora de la nitrificación (49.53%) y el nivel 120 kg N ha⁻¹ (49.91%). La eficiencia agronómica, fisiológica y de uso (recuperación) del nitrógeno para fuentes no fueron significativos, obteniendo valores promedio de 21.58 kg de arroz producido por kg de N aplicado, 48.69 kg arroz producido por kg N acumulado y 47.91% respectivamente; y entre los niveles 120 y 360 kg N ha⁻¹ la eficiencia agronómica osciló desde 30.81 y 14.21 kg de arroz producido por kg de N aplicado, la eficiencia fisiológica entre 69.36 y 36.12 kg arroz producido por kg N absorbido y la eficiencia de uso de nitrógeno entre 53.74 y 40.54 %. La mejor tasa de retorno marginal la presentó la fuente inhibidora de la ureasa con 940.42%.

Palabras clave: Arroz, uso eficiente del nitrógeno, pérdidas de nitrógeno, fertilizantes de lenta liberación, inhibidores, rendimiento en grano.

ABSTRACT

This research was conducted at the “Vista Florida” Experimental Station belonging to the Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA (National Institute of Agrarian Innovation), located in Lambayeque- Peru, during the growing season 2016-I. The aim of this project was to develop alternative nitrogen fertilization programs in rice crop to increase its productivity and profitability. The nitrogen sources tested were the following: common urea, Urease Inhibitor and a Nitrification Inhibitor. The levels were: 0, 120, 240 and 360 kg N.ha⁻¹. The experimental design used for this work was a Split Plot design with three replicates. The results showed that there were no statistical significance in yield among the nitrogen sources studied. Nitrogen levels significantly increased dry matter and grain yield. The maximum yield (9.06 t.ha⁻¹) was obtained with 240 kg N.ha⁻¹ and the highest dry matter (19.82 t.ha⁻¹) at the level of 360 kg N.ha⁻¹. The harvest index was highly significant in both sources and levels, obtaining the highest value with the Nitrification inhibitor source (49.53%) and the level of 120 kg N.ha⁻¹ (49.91%). There were no statistical significance among the agronomic, physiological and use efficiency (recovery) of nitrogen for each source, obtaining average values of 21.58 kg of rice per kg of N applied, 48.69 kg of rice per kg N accumulated and 47.91% respectively; and between levels 120 and 360 kg N.ha⁻¹. Agronomic efficiency varied from 30.81 to 14.21 kg of rice per kg of N applied. Physiological efficiency varied from 69.36 to 36.12 kg of rice per kg of N absorbed and Nitrogen use efficiency varied from 53.74% to 40.54%. The best marginal rate of return, 940.42%, was obtained by the Urease Inhibitor source.

Keywords: Rice, nitrogen use efficiency, nitrogen losses, slow-release fertilizers, inhibitors, grain yield.

I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un cereal importante para dos tercios de la población mundial (Patil *et al.*, 2010). La mayor parte de este cereal se produce y consume por pequeños agricultores de bajos ingresos y en países en vías de desarrollo.

El cultivo de arroz en nuestro país es de gran importancia socioeconómica, principalmente a su difundido hábito de consumo; según datos registrados por el MINAGRI en el 2014, se cultivaron alrededor de 383,103 hectáreas, con un rendimiento promedio de 7.6 toneladas por hectárea. La mayor parte pertenece a pequeños productores que desarrollan el cultivo mediante la aplicación de diversas tecnologías, que están en relación con la disposición de recursos económicos, acceso a la capacitación y al incentivo de los precios del mercado. (MINAGRI – SIEA, 2014).

Según el INEI, (2015) a mitad del año 2015, la población del país alcanzó los 31 millones 151 mil 643 habitantes, hacia el 2021, año del bicentenario de nuestra independencia nacional superaremos los 33 millones y para el año 2050 se estima que llegará a 40 millones de habitantes. Entre el 2015 y 2021, cada año se sumarán 333 mil nuevas personas. Con un consumo per cápita de 63.5 kg (MINAGRI, 2013), al 2050 sería necesario aumentar la producción nacional en 28.4%. Para lograr este incremento (802,546 t.), serán necesarios aumentar en 25.2% el área agrícola nacional (96,235 ha).

En el Perú es necesario aumentar el rendimiento por unidad de superficie, con el propósito de satisfacer la demanda de grano, por lo tanto es necesario realizar trabajos de investigación que ayuden a determinar los niveles óptimos de nitrógeno y fuentes adecuadas; ya que el nitrógeno es el insumo que mayor influencia tiene en el rendimiento y con otras prácticas de cultivo.

El arroz incrementa drásticamente los rendimientos con aplicaciones de nitrógeno. Los agricultores usan con este fin, elevados niveles de fertilizantes nitrogenados, que origina un decrecimiento de la eficiencia de uso del nitrógeno, aumentando costos de producción y polución ambiental (Singh, H *et al.*, 2014).

En el Perú, el fertilizante nitrogenado más usado es la urea, por su menor precio por unidad de nitrógeno (46% N) y el sulfato de amonio de mayor costo por unidad de nitrógeno y menor concentración (21%N).

Las aplicaciones de nitrógeno incrementan la producción de biomasa, rendimiento y los componentes del rendimiento. Altas cantidades favorecen el desarrollo de microclimas favorables a los insectos dañinos y enfermedades.

Las evaluaciones de las reacciones del cultivo de arroz, a diferentes niveles de nitrógeno y de diferentes fuentes nitrogenadas, permitirán desarrollar mejor la eficiencia de uso (Li, D *et al.*, 2015).

Las respuestas del rendimiento en arroz, están influenciadas por el tipo varietal, condiciones de temperatura y radiación, manejo de agua, tipo de suelo y presencia de plagas. Las condiciones meteorológicas de la costa peruana son ideales para alcanzar altos rendimientos pero este potencial no está siendo explotado a plenitud. Se requiere desarrollar tecnologías sustentables de producción, que optimicen el uso de los recursos con menor impacto ambiental.

En los campos de arroz inundado existen múltiples factores que ocasionan pérdidas del N y causan baja respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada (De Datta, 1981). El arroz es capaz de usar en forma efectiva las fuentes amoniacales, cuando se aplica una dosis más alta de la necesaria o su distribución es inapropiada, ocurren pérdidas especialmente por desnitrificación y volatilización (David y Otsuka, 1994; citado por Quirós y Ramírez, 2006). Cuando se aplica urea sobre la lámina de agua o sobre barro, las pérdidas de N por volatilización pueden llegar ser hasta el 80% (De Datta, 1981).

Por otra parte si el N se aplica en forma de nitratos, podrían ocurrir pérdidas por lixiviación, por tal razón no debe utilizarse tales fuentes de N en agroecosistemas inundados (Molina, 2003). Frente a estos inconvenientes en los últimos tiempos se ha dado gran empuje a los fertilizantes de liberación controlada, estos dan a la planta una nutrición uniforme y constante en dosis y proporciones similares a las necesidades de la planta reduciendo las frecuencias de aplicación, el nitrógeno se va liberando lentamente evitando pérdidas por volatilización, desnitrificación y lixiviación (INPOFOS, 2010; citado por Tola, 2015).

OBJETIVO GENERAL

Generar alternativas de fertilización nitrogenada en el cultivo de arroz para aumentar la productividad y rentabilidad

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los rendimientos en grano de las tres fuentes nitrogenadas y cuatro niveles de nitrógeno en estudio.
- Identificar los niveles y fuentes de nitrógeno de mayor productividad y rentabilidad.
- Determinar la eficiencia de uso de nitrógeno.
- Determinar la influencia de fuentes y niveles en el rendimiento de arroz pilado.
- Determinar la relación beneficio / costo de la urea común comparado con fertilizantes de lenta liberación, inhibidor de la ureasa, inhibidor de la nitrificación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL ARROZ

El arroz (*Oryza sativa*. L), según la literatura china el cultivo de arroz empezó aproximadamente hace 3000 años antes de cristo (AC), y el primer cultivo se le atribuye al emperador chino Sheng-Nung quien ha sido el padre de la agricultura y la medicina de su pueblo. En el valle Yang-Tsen Kiang se han encontrado restos de arroz que datan de 3000 a 4000 años AC (Angladette, 1969; citado por FLAR, 2010).

En el Perú se cultiva desde el paralelo 3° a la 16° latitud sur, siendo de gran importancia para el sector agrícola y la economía del país, sólo seis de los veinticuatro departamentos no producen arroz, y las principales zonas productoras son: Lambayeque, San Martín, Piura y La Libertad, las cuales abastecen el 65% del mercado nacional; y en segundo orden de importancia se encuentran: Arequipa, Amazonas y Cajamarca con el 22.5% de la producción nacional. Además el cultivo de arroz aportó el 2012 con el 4.85% del PBI agropecuario y con el 8.23% del PBI agrícola del país; a su vez genera alrededor de 44.7 millones de jornales los que equivalen a 161,300 empleos anuales permanentes, por lo que tiene una fuerte influencia económica y social en el medio rural (MINAGRI-DGCA, 2013).

La superficie de arroz cosechada en el mundo es de 154 millones de hectáreas después del trigo que es de 214 millones de hectáreas, sin embargo el consumo humano representa el 85% de la producción total de arroz, frente al 72% para el trigo (Importance of Rice-Rice knowledge, 2017). En el Perú, el arroz es el primer producto en área sembrada y cosechada, muy por encima del café, papa y maíz amarillo; con 380,000 hectáreas en promedio. Se ha constituido en uno de los componentes esenciales de la canasta básica familiar de los peruanos (INIA-PNIA EN ARROZ, 2017). El arroz es el cultivo alimenticio más importante del mundo y es la fuente primaria de alimentos, para más de la mitad de la población mundial. Más del 90% de la producción de arroz es producida y consumida en el Asia, donde vive el 60% de la población mundial.

El arroz aporta de 35-75% de las calorías consumidas por más de 3 mil millones de asiáticos. El arroz proporciona el 21% de la energía humana per cápita global y el 15% de la proteína per cápita. Aunque la proteína de arroz tiene una alta calidad nutricional entre los cereales, su contenido es menor. El arroz también proporciona minerales, vitaminas y fibra (Importance or Rice-Rice knowledge, 2017).

FAO (2004) señala que el arroz tiene gran diversidad genética. En todo el mundo se cultivan miles de variedades. El arroz, en su estado natural, con cáscara, presenta muchos colores diferentes que incluyen el pardo, el rojo, el púrpura e incluso el negro. Estas coloridas variedades de arroz casi siempre son apreciadas por sus propiedades benéficas para la salud. El arroz con cáscara tiene un contenido mayor de nutrientes que el arroz blanco sin cáscara o pulido (Cuadro 1).

Cuadro 1: Contenido nutricional de variedades de arroz

Tipo de arroz	Proteína (g/100g)	Hierro (mg/100g)	Cinc (mg/100g)	Fibra (g/100g)
Blanco pulido ^a	6.8	1.2	0.5	0.6
Integral ^a	7.9	2.2	0.5	2.8
Rojo ^b	7.0	5.5	3.3	2.0
Púrpura ^b	8.3	3.9	2.2	1.4
Negro ^a	8.5	3.5	-	4.9

FUENTE: a = Tabla de composición de alimentos de la Asociación de las Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN, su acrónimo en inglés); b = Tabla de composición de alimentos de China.

Cuadro 2: Composición en 100 g de Arroz

Nombre del alimento	Energía (Kcal)	Proteína (g)	Agua (g)	Grasa total (g)	Fibra cruda (g)	Cenizas (g)
Arroz pilado o pulido cocido	115	2.40	72.20	0.1	0.1	0.1
Arroz blanco corriente	358	7.80	13.40	0.7	0.4	0.5
Arroz con cáscara	325	5.90	11.90	2	9.9	4.5

Carbohidratos disponibles (g)	Ca (mg)	P (mg)	Zn (mg)	Fe (mg)	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Niacina (mg)	Vit. C (mg)
25.20	11	30	0.42	0.30	0.00	0.00	0.24	0.00
77.60	6	134	1.51	1.04	0.11	0.04	2.19	0.90
71.60	40	185	0.20		0.16	0.07	3.85	0.00

FUENTE: Adaptado de Tablas Peruanas de Composición de alimentos, CENTRO NACIONAL ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN INSTITUTO NACIONAL DE SALUD (2009).

2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Según Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de Venezuela (INIA, 2004), la clasificación taxonómica de esta gramínea es la siguiente:

- Clase: Monocotiledóneas
- Origen: Glumiflorales
- Familia: Poaceas
- Subfamilia: Panicoides
- Tribu: Oriceas
- Género: *Oryza*
- Especie: *Sativa* L.
- Grupos (razas ecogeográficas): Indica, Japonica, Javanica.

2.3 MORFOLOGÍA

El arroz es una gramínea anual, de tallos redondos y huecos compuestos por nudos y entrenudos, hojas de lámina plana unidas al tallo por la vaina y su inflorescencia es en panícula.

Los órganos de la planta de arroz se clasifican en dos grupos:

2.3.1 Órganos vegetativos

Raíz:

Las plantas tienen dos tipos de raíces: las seminales o temporales, y las adventicias o permanentes. Las primeras sobreviven corto tiempo y son reemplazadas por las segundas que brotan de los nudos subterráneos de los tallos jóvenes, y en algunos casos también de los nudos aéreos. Las raíces adventicias son fibrosas, con raíces secundarias y pelos radicales. La punta de las raíces está protegida por una masa de células de forma semejante a la de un dedal, llamada coleoriza, la cual facilita su penetración en el suelo.

El desarrollo del sistema radical, aunque es un carácter varietal definido, está determinado por el sistema de cultivo y por la naturaleza de los suelos.

En suelos inundados, la superficie exterior de las raíces activas se oxida; debido a la precipitación de compuestos férricos, las raíces oxidadas pueden ser reconocidas visualmente por su coloración rojiza, en suelos aireados, las raíces mantienen su color blanco.

Tallos:

Son redondos y huecos, compuestos de nudos y entrenudos en un número variable. Los entrenudos de la base no se elongan, lo cual hace que la base del tallo sea sólida. Los cinco entrenudos superiores se prolongan de manera creciente a fin de llevar la inflorescencia sobre la planta. El último entrenudo (pedúnculo) termina en el nudo ciliar de donde continúa la panícula.

Un tallo con sus hojas forma un macollo. Estas se desarrollan en orden alterno en el tallo principal. Los macollos primarios se desarrollan de los nudos más bajos, y a la vez producen macollos secundarios; y éstas últimas producen macollos terciarias. El conjunto de macollos y el tallo principal forman la planta.

El número total de macollos es una característica varietal, que puede variar según el sistema de cultivo y el medio ambiente.

Hojas:

En cada nudo del tallo se desarrolla una hoja, la superior que se encuentra debajo de la panícula se la conoce como hoja bandera y es más corta y ancha que las precedentes.

En una hoja completa se distinguen la vaina, el cuello y la lámina. En el cuello se encuentra la lígula y las aurículas que son estructuras que fijan las hojas alrededor del tallo a manera de protección.

2.3.2 Órganos reproductores

Flores:

Las flores de la planta de arroz están agrupadas en una inflorescencia denominada panícula, la cual está situada sobre el nudo apical del tallo, denominado nudo ciliar, cuello o base de la panícula; frecuentemente tiene la forma de un aro ciliado.

La espiguilla es la unidad básica de la inflorescencia y está unida a las ramificaciones por el pedicelo y consta de dos lemmas estériles, glumas rudimentarias y la florecilla. La florecilla consta de dos brácteas o glumas florales (lemma y pálea) con seis estambres y un pistilo.

Semillas:

La semilla de arroz es un ovario maduro, seco e indehisciente. Consta de la cáscara formada por la lemma y la palea con sus estructuras asociadas, lemmas estériles, la raquilla y la arista; el embrión, situado en el lado ventral de la semilla cerca de la lemma, y el endospermo, que provee alimento al embrión durante la germinación.

Debajo de la lemma y la palea hay tres capas de células que constituyen el pericarpio; debajo de éstas se encuentran dos capas, el tegumento y la aleurona.

El embrión consta de la plúmula u hojas embrionarias y la radícula o raíz embrionaria primaria. La plúmula está cubierta por el coleóptilo, y la radícula está envuelta por la coleoriza.

El grano de arroz descascarado es un cariósipide; se conoce con el nombre de arroz integral, y aún conserva el pericarpio de color marrón rojizo o púrpura.

2.4 CRECIMIENTO Y DESARROLLO

La planta de arroz usualmente tarda 3 a 6 meses desde la germinación a la maduración, dependiendo de la variedad y el medio ambiente en que se cultiva. Durante este período, el arroz completa básicamente dos etapas distintas de crecimiento secuencial: vegetativa y reproductiva. El estado reproductivo esta subdividido en periodos de prefloración y post-floración. La última es más conocida como periodo de maduración. La capacidad de rendimiento se determina principalmente durante la prefloración. El rendimiento finalmente está determinado por la cantidad de carbohidratos depositados en las espiguillas durante la post-floración. Por lo tanto agrónomicamente es conveniente considerar tres etapas de crecimiento: vegetativa, reproductiva y de maduración (Yoshida, 1981).

- a. Etapa Vegetativa:** comprende desde la germinación al inicio del primordio de la panícula y en una variedad de 120 dura 60 días. Esta etapa se caracteriza por la actividad de macollamiento, el aumento gradual en altura, y la emergencia foliar a intervalos regulares.

- b. Etapa Reproductiva:** comprende desde el primordio de la panícula a floración y dura aproximadamente 30 días. El estado reproductivo se caracteriza por el alargamiento de los tallos (que aumenta la estatura), disminución del número de macollos, emergencia de la hoja bandera (la primera hoja de arriba hacia abajo), el huso (booting, embuchamiento), panículamiento y floración.

- c. Etapa de Maduración:** comprende de floración a maduración. La maduración se caracteriza por la senescencia foliar, crecimiento del grano en tamaño y en peso y

cambio de color. La duración de la maduración varía de 30 días en los trópicos a 65 días en las áreas templadas (frío) como en Hokkaido (Japón), Australia.

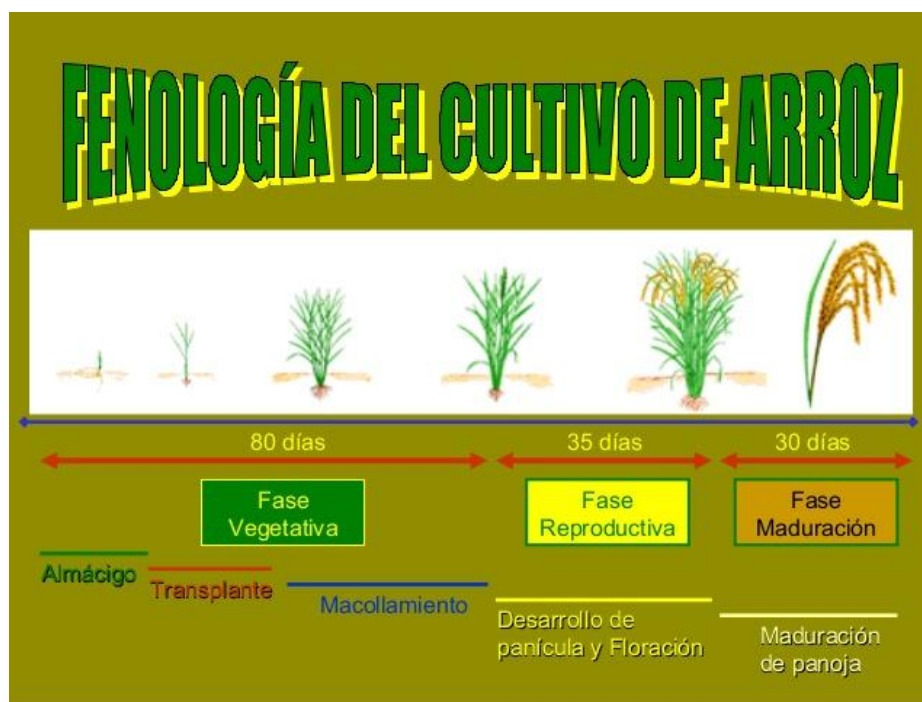


Figura 1. Fenología del cultivo de arroz

FUENTE: <https://www.slideshare.net/adanyomarfenandeztor/arroz-61793461>.

2.5 SISTEMAS DE SIEMBRA

Existen dos sistemas para sembrar arroz. El sistema de siembra directa y el sistema de transplante. En el Perú el sistema dominante es el transplante. Casi el 90% de la producción nacional, se obtiene de áreas transplantadas. La siembra directa se practica en pequeñas áreas en la costa y en la selva alta. Las siembras de secano y barrial se realizan en su totalidad de forma directa.

La siembra directa se realiza en seco en la costa (valle Chira). En la selva alta, se realiza en pozas al batido con semilla germinada. Estas pozas después del batido, reciben el herbicida pre-emergente y después de 48 horas se drenan, para “volar” la semilla germinada.

De acuerdo a los sistemas de cultivo, el arroz se produce bajo condiciones de riego y secano, cubriendo el área irrigada entre 85 a 90% de la superficie nacional arrocera, aportando casi el 95% de la producción nacional (MINAGRI-DGCA, 2010).

Los rendimientos más altos se obtienen del sistema irrigado en los valles de Camaná y Majes en Arequipa, con 13,708 kg ha⁻¹. En las áreas de barrial, playas de los ríos amazónicos que se forman en el período de vaciante el rendimiento es casi 50% más bajo que en las áreas irrigadas; asimismo las áreas de secano registran los rendimientos más bajos, debido a plagas y enfermedades, suelos ácidos, entre otros factores (MINAGRI-DGCA, 2010).

2.6 IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE ARROZ

El nitrógeno es el elemento limitante más importante para el rendimiento del arroz. El incremento en la producción de arroz es en gran parte atribuido al incremento en el fertilizante nitrogenado.

Alcívar y Mestanza (2007; citado por Rugel, 2016) indican que el arroz necesita asimilar nitrógeno durante todo su periodo vegetativo, con mayor exigencia en el macollamiento e inicio de formación de panícula aumentando el número y el tamaño, usando el 50% de nitrógeno absorbido y el otro 50% es dirigido a la formación del grano. El nitrógeno interviene en la formación de proteínas y participa activamente en la fotosíntesis; su deficiencia causa en la planta raquitismo, poco macollamiento y las hojas inferiores presentan secamiento del ápice.

A solo diez días después de la germinación las plántulas de arroz son capaces de absorber nutrientes de la solución suelo y empezar el crecimiento vegetativo con mayor posibilidad de generar altos rendimientos (De Datta, 1981). El N en forma amónica que el arroz absorbe activamente en etapas tempranas se aprovecha en la síntesis de proteínas, producción de macollos y vainas de la hoja (Yoshida, 1981). Por lo tanto a mayor absorción de N mayor cantidad de macollos efectivos por unidad de superficie con mayor número de tallos fértiles. En consecuencia, un contenido óptimo de N entre la fase de macollamiento máximo y formación de la panículas permite una adecuada densidad de panícula durante la floración (Tinarelli, 1989; citado por Quirós y Ramírez, 2006).

En el estado inicial de formación de la panícula la disponibilidad del N es indispensable para fortalecer el desarrollo reproductivo del arroz. Entre 20 y 25 días antes de la floración el

arroz empieza su etapa reproductiva con la formación del primordio de la panícula. En este momento el nudo de la hoja bandera coincide con el de la hoja siguiente y dentro de la vaina la panícula en formación mide entre 1 a 2 mm de longitud (De Datta, 1981). Puesto que en esta fase gran parte de la energía metabólica de la planta es usada para formar espiguillas y granos, con intensa emisión de raíces adventicias superficiales, la absorción de N se incrementa significativamente. El adecuado abastecimiento con N en este periodo asegura mayor cantidad de espiguillas, mayor tamaño de panículas y máxima cantidad de granos llenos por espiguilla (Yoshida, 1981; De Datta, 1981; Tinarelli, 1989; citad por Quíros y Ramírez, 2006).

Conocer el estado nutricional del cultivo en sus diferentes etapas fenológicas es indispensable al definir momentos propicios para establecer la fertilización nitrogenada. El análisis foliar es una forma de conocer el contenido de N total y la necesidad de este nutriente en la planta. Aunque esta técnica proporciona resultados precisos, su costo y las demoras necesarias para completar los análisis en laboratorio hacen que sea inadecuada para realizar recomendaciones de fertilización oportuna.

Dependiendo de la especie vegetal, el estado de desarrollo y el órgano, la concentración óptima de nitrógeno en planta varía entre 2 y 5%. En la planta de arroz los niveles normales de nitrógeno en planta oscilan entre 2,5 a 3,5% en la etapa que va desde macollaje a inicio de primordio y de 2,5 a 4 % en plantas de más de 30cm de estatura (Mejía de Tafur y Menjivar, 2010; citado por Gabrielli y Pintos, 2013).

2.6.1 Requerimientos de nitrógeno del cultivo de arroz

El cultivo de arroz, para variedades de alto rendimiento, puede realizar extracciones en torno a los 200 kg de N ha⁻¹, lo cual se corresponde con 18,4 kg de N t⁻¹ de grano (Atanasiu, citado por Gabrielli y Pintos, 2013).

Benintende *et al.*, citado por Gabrielli y Pintos (2013) reportan valores promedio de nitrógeno absorbido durante todo el ciclo del cultivo para tres cultivares de arroz, de 119 kg N ha⁻¹.

De Battista y Arias, citado por Gabrielli y Pintos (2013) reportan requerimientos de nitrógeno diferenciales según variedad: El Paso 15-17 kg N t⁻¹ de grano, Bluebelle y Don Juan INTA 18-20 kg N t⁻¹ de grano.

2.6.2 Absorción de nitrógeno

Según experimentos diseñados para medir la eficiencia del consumo de nitrógeno del fertilizante, usando nitrógeno marcado, indican que el arroz fertilizado extrae del suelo del 50 a 80% del nitrógeno requerido, dependiendo de la capacidad de aporte del suelo y de la cantidad de fertilizante agregado (Toyama, Broadbent, De Datta, citados por Deambrosi y Mendez, 1996).

La absorción de nitrógeno por la planta puede realizarse como ion amonio (NH₄⁺) o como ion nitrato (NO₃⁻). La mayor parte del nitrógeno absorbido como NH₄⁺ se incorpora a compuestos orgánicos en las raíces, mientras que el NO₃⁻ es móvil en el xilema y se puede almacenar en vacuolas y demás órganos aéreos de la planta, si bien la acumulación de nitratos en la planta es importante para el balance iónico y la osmorregulación, este se debe reducir a NH₄⁺ para ser incorporado en los esqueletos carbonados.

Desde la siembra hasta el máximo macollamiento, la extracción es de aproximadamente un 37% del total, mientras que desde el comienzo de primordio floral a inicio de floración la misma es de un 31%, descendiendo a un 20% en el período que abarca desde inicio de floración hasta maduración total (Atanasiu, citado por Gabrielli y Pintos 2013).

Según De Datta (1986) el nitrógeno absorbido por la planta en los diferentes momentos del ciclo del cultivo ejerce acción sobre diferentes componentes de rendimiento. Desde macollaje hasta primordio floral, el nitrógeno absorbido tiende a aumentar el número de macollos y panículas, el absorbido entre primordio floral y floración aumenta el número de espiguillas llenas y el absorbido posterior a la floración aumenta el peso de granos.

2.7 PROCESOS MÁS IMPORTANTES DE PÉRDIDAS DE NITRÓGENO

Carrillo de Cori *et al.*, (1991; citado por Gabrielli y Pintos 2013), afirman que la recuperación del nitrógeno del fertilizante aplicado en arroz es de 20 a 40%, por lo cual el restante 60-80% podría estar sujeto a algún tipo de pérdida.

Las principales fuentes de pérdida de nitrógeno experimentadas por suelos inundados son: denitrificación y volatilización, las cuales explican la baja eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados por el cultivo (De Datta, 1986).

Las pérdidas de nitrógeno aplicado desde la urea fue estimado de 30 a 60% en suelos tropicales (Khali *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2010; citado por Khan, Afzal, Wahab, Khalil, Ping, Quiaojing y Zhou, 2015).

Bajo condiciones alternativas de óxido – reducción, las pérdidas de nitrógeno aumentan. Aparente recuperación del fertilizante a la cosecha fluctuó entre 20 y 30 % con prácticas de manejo convencional en Perú, pero la eficiencia puede ser incrementada sustancialmente por la selección de fuentes, prácticas de ubicación y momento más adecuado para las condiciones locales (Sanchez y Calderon, 1971; Ramirez y Sanchez, 1971a).

2.7.1 Pérdidas por volatilización de amoníaco.

El proceso ocurre a través del paso de amonio a amoníaco (gas) el cual se pierde a la atmósfera. La velocidad de las pérdidas está en función directa de la concentración de amonio en el suelo (Adams, 1995; citado por Gabrielli y Pintos 2013).

En el paso de amonio NH_4^+ a amoníaco NH_3^- se libera un H^+ , por lo cual el pH y la capacidad buffer del suelo influyen en el proceso de volatilización (Adams, 1995; citado por Gabrielli y Pintos 2013).

Los factores que alteran el pH del suelo son los responsables de cambios en el la magnitud de las pérdidas por volatilización. En suelos con pH inferiores a 7,5 las pérdidas por volatilización son insignificantes, mientras que cuando el pH sube por encima de 8 existen pérdidas considerables (Fillery *et al.*, Diest, citados por Deambrosi y Mendez, 2009).

La velocidad de hidrólisis de la urea en el suelo y la volatilización del NH_3 son generalmente afectados por la temperatura del suelo (Vlek and Carter, 1983; Carmona *et al.*, 1990; citado por Nasima, Khanif, Hanfi, Wan y Dharejo, 2011).

Las pérdidas de NH_3 medidas a partir de diferentes sistemas de cultivo en secano y sistemas irrigados se han extendido en cantidades insignificantes mayor a 50% del fertilizante nitrogenado aplicado, dependiendo de las prácticas de fertilización y condiciones ambientales (Bacon *et al.*, 1986; Keller y Mengel, 1986; Black *et al.*, 1989; Freney *et al.*, 1992; citado por Nasima, Khanif, Hanfi, Wan y Dharejo, 2011).

En arroz inundado, la volatilización del NH_3 puede representar de 20 a 80% del total de pérdida de nitrógeno a partir de fertilizantes (Simpson *et al.*, 1984; De Datta *et al.*, 1989; Freney *et al.*, 1990; Mosier *et al.*, 1989; Zhu, 1992; citado por Nasima, Khanif, Hanfi, Wan y Dharejo, 2011).

Pérdidas por volatilización del amoníaco en sistemas inundados es de 24 a 32% del fertilizante nitrogenado aplicado, la magnitud de las pérdidas en parte dependen del periodo de tiempo entre la aplicación del fertilizante y la inundación (Norman *et al.*, 2009; Griggs *et al.*, 2007; citado por Bruce, Lijun, Chris y Kees, 2013).

En un experimento realizado por Carrillo de Cori (1991; citado por Gabrielli y Pintos 2013) evaluando las pérdidas de nitrógeno aplicado como fertilizante mediante el uso de N^{15} , encontraron que del nitrógeno aportado por urea un 48% se pierde, mientras que el restante 52% queda en granos (25%), paja, raíces y suelo. Las pérdidas se atribuyen principalmente al proceso de volatilización.

2.7.2 Pérdidas por lixiviación

Debido a su carga negativa, el NO_3^- no es retenido por la fracción coloidal del suelo; por lo tanto, el agua que se mueve a través del mismo puede llevar consigo el NO_3^- hacia los horizontes inferiores, proceso que se conoce como lixiviación o lavado.

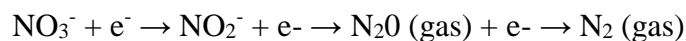
Las pérdidas se producen principalmente como NO_3^- , cuyo movimiento está estrechamente relacionado con el movimiento del agua. Las principales pérdidas de N se producen cuando el contenido de NO_3^- del suelo es alto y el movimiento del agua es grande.

La lixiviación de nitratos se ve incrementada por la cantidad y la forma de aplicación de las láminas de riego ya sea de forma continua o intermitente (Tafteh y Reza, 2012; citado por Soca y Constanza, 2015).

2.7.3 Desnitrificación

La desnitrificación es un proceso de reducción biológica realizado en el suelo por un gran número de microorganismos anaerobios facultativos. En condiciones de anaerobiosis estos microorganismos utilizan el NO_3^- y el NO_2^- en lugar de O_2 como aceptores de electrones (e^-), produciendo dos formas gaseosas de N, N_2O (óxido nitroso) y N_2 (N molecular).

Este proceso se puede expresar como:



El mecanismo de desnitrificación implica la transformación de nitrato y nitrito a NO, N_2O y N_2 . Los factores del suelo que influyen significativamente en la desnitrificación son: oxígeno (que está controlada principalmente por el contenido de agua del suelo), la concentración de nitrato, pH, temperatura y carbono orgánico (Peoples *et al.*, 1995 citado por Nasima, Khanif, Hanfi, Wan y Dharejo, 2011).

El agua del suelo tiende a moderar la difusión de oxígeno en el suelo, y la desnitrificación se produce sólo cuando el contenido de agua del suelo es mayor a 60% del espacio poroso lleno de aire en los campos de arroz inundados (Linn y Doran, 1984; citado por Nasima, Khanif, Hanfi, Wan y Dharejo, 2011).

Atanasiu, (1985; citado por Gabrielli y Pintos, 2013) plantea que la magnitud de las pérdidas de NO_3^- por desnitrificación dependen de: el potencial REDOX; la temperatura; el contenido de NO_3^- (proveniente de la nitrificación del NH_4^+ o de incorporaciones por fertilización) y del contenido de materia orgánica.

Buresh *et al.* (2008; citado por Bruce, Lijun, Chris y Kees, 2013) estimó que las pérdidas por desnitrificación representaban menos del 10% de las pérdidas de fertilizantes con urea en las plantaciones de arroz. Sin embargo, las pérdidas por desnitrificación se ven afectadas por el tipo de suelo y el manejo de fertilizantes nitrogenados, y otros estudios han estimado pérdidas por desnitrificación en el rango de 12-33% (Buresh *et al.*, 1993^a; citado por Bruce, Lijun, Chris y Kees, 2013).

2.8 ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LAS PÉRDIDAS DE NITRÓGENO E INCREMENTAR EL RENDIMIENTO

2.8.1 Uso de fertilizantes de lenta o controlada liberación

Colacelli, (1997; citado por Espinoza 2014) informó que en la última década han tomado importancia las llamadas tecnologías de liberación controlada o "controlled release", esta tecnología puede definirse como la transferencia lenta, moderada o gradual de un material activo desde un sustrato de reserva a otro medio, con el fin de conseguir sobre el mismo una acción determinada.

Una razonable fertilización es uno de los enfoques claves para incrementar el rendimiento del cultivo y beneficios en la productividad. Se sabe bien que los diferentes fertilizantes y métodos de aplicación deberían resultar en diferentes efectos sobre el crecimiento del cultivo, desarrollo, características fisiológicas, y componentes de rendimiento. En la actualidad, los fertilizantes normalmente son aplicados en varios fraccionamientos para la producción de arroz, con 2 a 4 aplicaciones, lo que resulta en muy baja eficiencia en el uso de nutrientes y severas pérdidas de nutrientes, que también están seriamente contaminando el medio ambiente (Zhu 2000; Peng *et al.*, 2002; citado por Tang, Yang, Chen, Xu, Zhangf, Ai, 2007).

Sato *et al.*, (1993; citado por Tang, Yang, Chen, Xu, Zhangf, Ai, 2007) reportó que el arroz con una sola aplicación de urea de liberación controlada, aunque no crecen bien en la etapa de macollamiento temprano, resultó en gran biomasa aérea, gran cantidad de panículas efectivas y granos por panícula, con un incremento de arroz cascara de 33.0 a 54.7% mediante tratamientos con sulfato de amonio.

La urea recubierta con azufre, inhibidores de ureasa y otros materiales biodegradables son las posibles soluciones para reducir las pérdidas de nitrógeno y mejorar la eficiencia de la urea (Shaviv, 2001; citado por Khan, Afzal, Wahab, Khalil, Ping, Quiaojing y Zhou, 2015).

Centrándose en las características de alta eficiencia de uso de nutrientes, es una tarea urgente, desarrollar nuevas técnicas en la fabricación de los fertilizantes. Los fertilizantes de liberación controlada se caracterizan por la alta eficiencia en el uso de nutrientes, siendo amigables con el medio ambiente, un menor uso de mano de obra y requerimientos de aplicación de fertilizantes (Tohoku Branch of Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 1997; citado por Tang, Yang, Chen, Xu, Zhangf, Ai, 2007).

La práctica más común de cultivo de arroz en agricultores chinos es el trasplante de plántulas y la fertilización basal, que tiene 20-40% de eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) (Zhu y Chen, 2002; Wang *et al.*, 2007; citado por Li, Xu, Qin, Shen, Sun, Hosen y He, 2015).

2.8.2 Fertilizantes con inhibidores de la nitrificación y la ureasa.

Los inhibidores de nitrificación son ideales para retrasar la conversión del NH_4^+ a NO_3^- , y de esta forma mejorar la eficiencia del fertilizante nitrogenado.

Inhibidores de la ureasa previenen o suprimen un cierto tiempo la transformación del nitrógeno amida de la urea a hidróxido de amonio y amonio mediante la acción hidrológica de la encima ureasa. Al reducir la velocidad a la que se hidroliza la urea en el suelo, se reducen o se evitan las pérdidas por volatilización de amoníaco al aire (así como pérdidas por lixiviación adicional de nitrato).

Inhibidor de la ureasa (agrotain) son compuestos, que son usados para inhibir la actividad de la encima ureasa en el suelo y reducir el proceso de hidrolisis de la urea (Bolan *et al.*, 2004; citado por Khan, Afzal, Wahab, Khalil, Ping, Quiaojing y Zhou, 2015).

El ácido húmico inhibidor de la ureasa es una especie de sinergista de la urea amigable con el medio ambiente. Las primeras investigaciones y reportes se concentraron en su efecto sobre el inhibidor de la ureasa del suelo y su efecto sobre el incremento del rendimiento (Lu

y Wang 1994; Liu *et al.*, 1994a; Fan y Ye 1995; citado por Yang, Jin, He y Liang, 2008).

El ácido húmico de carbón puede mejorar el desarrollo de los cultivos para facilitar la absorción del nitrógeno e incrementar el uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados a base de urea, además de su buen efecto inhibidor (Li *et al.*, 2004; Gao *et al.*, 2004; citado por Yang, Jin, He y Liang, 2008). Tiene un buen potencial y es adecuado para un mayor desarrollo debido a su bajo precio. Además de ser una rica fuente, sin contaminantes, y seguro para las plantas y el suelo.

2.9 FUENTES NITROGENADAS

2.9.1 Urea común

El consumo de urea osciló alrededor de 67, 146 millones de toneladas durante el 2008 y 2009 (IFA, 2008); sin embargo, existe la preocupación acerca de la eficiencia de utilización del nitrógeno por los cultivos agrícolas debido a las prácticas de los agricultores. En Asia comúnmente dan lugar a recuperaciones de < 40% del N aplicado (Malhi *et al.*, 2001).

Alcívar y Mestanza (2007; citado por Rugel, 2016), sostiene que la urea es la fuente nitrogenada más común, de aspecto granulado, soluble en agua con una excelente movilidad en suelo mojado, posee una concentración de 46% de nitrógeno. Posee una acción retardada y a la vez progresiva que libera nitrógeno lentamente para restringir las pérdidas por traslado y como adaptarse a la capacidad de absorción de la planta.

Sánchez (2003; citado por Rugel, 2016) menciona que el uso de nitrógeno (urea), en el cultivo de arroz depende principalmente de la variedad, dosis y la época de aplicación. Con una adecuada forma de aplicación y fraccionando en partes iguales, suministrados en etapas críticas del cultivo (inicio del macollamiento, máximo macollamiento e inicio del primordio floral) lo que permitiría obtener mayor número de panículas por metro cuadrado, granos por panícula y peso del grano.

La adición de urea al suelo no sólo aumenta la productividad de la planta, sino también resulta en un incremento de la lixiviación del nitrato (NO_3^-), así como la liberación de N

gaseoso, tal como amoníaco (NH_3) y óxido nitroso (N_2O), que son perjudiciales para el medio ambiente.

El manejo de la urea es crítico para minimizar el potencial de pérdida de nitrógeno, especialmente mediante volatilización del amoníaco que ha sido mostrado a cantidades de 20 a 80% de pérdidas de N en la producción de arroz (Griggs *et al.*, 2007; Norman *et al.*, 2009; citado por Said, Yusop y Oad, 2014).

2.9.2 Inhibidor de la ureasa

Contiene 46 % de N, y presenta un recubrimiento con el producto INKABLOCK, el cual contiene ácido bórico recomendable para suelos con deficiencia de boro y sulfato de cobre pentahidratado, el producto **es un inhibidor de la enzima ureasa**.

Esta fuente se encuentra dentro de los productos de lenta liberación, ya que el INKABLOCK al ser un inhibidor de la ureasa evita que la urea se descomponga en NH_3 y CO_2 y se libere al medio ambiente.

2.9.3 Inhibidor de la nitrificación

Es un fertilizante químico soluble que contiene un elevado porcentaje de nitrógeno (45%N), indicado para cultivos con alta demanda de este nutriente, contiene en su formulación la molécula DMPP (3-4 dimetilpirazolfosfato), **inhibidora de la nitrificación**, que asegura la estabilidad del nitrógeno en el suelo en forma amoniacal, aporta el 100% de nitrógeno en forma amoniacal, eficiente para su uso en fertirriego.

a. Característica de la molécula DMPP

- Efecto bacteriostático, no bactericida (no mata las bacterias sino que inhibe su acción durante un determinado período de tiempo).
- Gran selectividad: inhibe eficazmente sólo la acción de las bacterias nitrosomonas.
- Se degrada totalmente en el suelo sin dejar residuos.

DMPP: inhibe la nitrificación

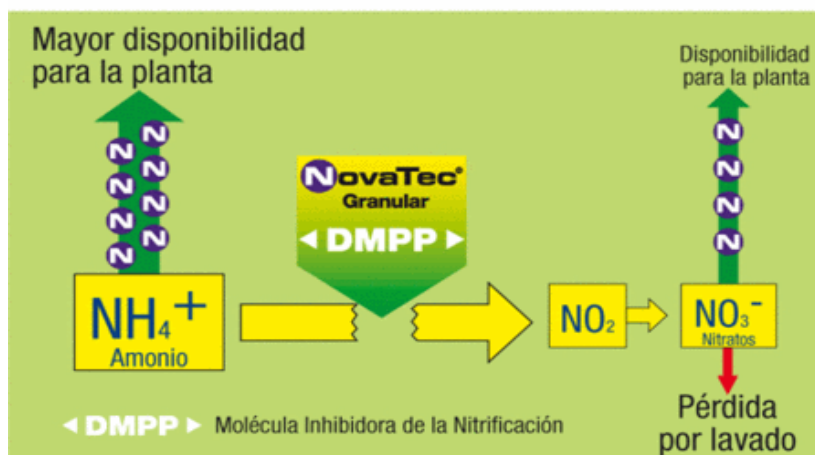


Figura 2. Esquema de la molécula inhibidora de la nitrificación

FUENTE: (Farmex, 2016).

b. Propiedades y Ventajas

Inhibidor de la nitrificación asegura la disponibilidad del nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+) permitiendo un ahorro energético (al no ser necesaria la reducción del ion nitrato en su interior), así como una mejora en la absorción de microelementos y de fósforo que contribuyen a aumentar la producción.

Inhibidor de la nitrificación contribuye a reducir las pérdidas de nitratos por lavado, evitando así la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas.

Inhibidor de la nitrificación contribuye también a la seguridad de su equipo de riego, pues es de total y rápida solubilidad, está exento de carbonatos y tiene un elevado poder acidificante, lo que evita la formación de precipitados y las obstrucciones en los emisores de riego.

Inhibidor de la nitrificación es recomendado para el cultivo de arroz de 70 a 100 kg ha^{-1} por campaña.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL EXPERIMENTO.

El presente trabajo de investigación se realizó durante la campaña Agrícola 2016-I en el lote 7-2 de la Estación Experimental Vista Florida del INIA, ubicado en la Región Lambayeque, Provincia de Chiclayo, Distrito Picsi, Valle Chancay. Sus coordenadas geográficas son: 06°43'34" latitud Sur y 79°46'49" longitud Oeste a 30 metros sobre el nivel del mar.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE CLIMA Y SUELO.

La zona presenta un clima templado – cálido con los siguientes parámetros climáticos:

Temperatura máxima: 32 °C

Temperatura mínima: 18 °C

Precipitación anual: 40 mm

Los datos de temperatura y radiación solar (Cuadro 3) fueron tomados de la Estación Meteorológica - INIA- Estación Experimental Vista Florida.

Cuadro 3: Temperatura y radiación solar durante la conducción del experimento. EEVF, 2016-I

Año	Mes	Temperatura en °C			Radiación K J / m ² /día
		Máxima	Mínima	Media	
Campaña 2016 - I	Enero	30.96	21.54	26.25	4029.54
	Febrero	32.75	22.80	27.77	4099.13
	Marzo	31.75	20.92	26.34	4674.08
	Abril	30.63	20.52	25.58	4343.44
	Mayo	27.84	17.41	22.62	4094.73
	Junio	27.39	16.55	21.97	3585.12

FUENTE: Elaboración propia a partir de datos de la EEVF.

El suelo donde se desarrolló el experimento es de textura franca de origen aluvial desértico, con contenido medio de materia orgánica (2.41 %), pH de 7.63, contenido de fósforo 7.60 ppm, contenido de potasio de 400 ppm y moderadamente salino, el análisis del horizonte A se presenta en el siguiente (Cuadro 4).

Cuadro 4: Análisis de suelo de la Estación Experimental Vista Florida, Lambayeque

PH (1:1)	C.E (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O %	P pmm	K pmm	Análisis Mecánico			Clase Textural
						Arena	Limo	Arcilla	
						%	%	%	
7.63	5.32	4.60	2.41	7.60	400	41	34	25	Franco

CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
meq /100g								
27.20	22.34	3.05	0.84	0.97	0.00	27.20	27.20	100

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes – Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1 Material genético

CARACTERÍSTICAS:

Nombre comercial:	Tinajones
País de origen:	Perú
Sistema de cultivo:	Siembra Directa - Trasplante
Período vegetativo (días)	135 días semiprecoz
Altura de planta (cm)	94 - 109
Espiguillas (Aristamiento)	Corta en algunos granos
Resistencia al tumbado	Intermedia
Resistencia desgrane	Intermedia
Rendimiento potencial	10 - 12 TM/Ha

Peso de 1000 gramos	28 gramos
Largo de panícula	22.3 - 23.2 cm
CALIDAD MOLINERA	
Rendimiento molinería	71%
Grano entero	63%
Grano quebrado	8%
Traslucencia	Transparente

CALIDAD CULINARIA

Buen graneado, buena expansión y mantiene una textura suave cuando se enfría

RESISTENCIA A PLAGAS

<i>Hydrellia wirthi</i>	Susceptible
<i>Diatraea saccharalis</i>	Mod. Resistente
<i>Togasodes orizicolus</i>	Susceptible

RESISTENCIA ENFERMEDADES

Quemado (Pyricularia)	Mod. Susceptible
Hoja Blanca	Susceptible
Mancha carmelita	Mod. Susceptible

FUENTE: (Catálogo de productos de semilla El Potrero, 2016).

3.3.2 Materiales de campo

Se utilizó los siguientes materiales:

Cal, cinta métrica, bolsas de plástico, bolsas de papel, cordeles, libretas de campo, etiquetas, mantas de polipropileno, sacos de polipropileno.

Los equipos empleados fueron:

Tractor, arado, paletas batidoras, niveladora laser, rastra de 28 pulgadas, mochila de fumigación, hoces, palana.

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 Factores estudiados:

- Tres fuentes de nitrógeno: Urea común (46%N); Inhibidor de la ureasa (46%N) y un inhibidor de la nitrificación (45%N).
- Cuatro niveles de nitrógeno: N1= 0 Kg ha⁻¹, N2= 120 Kg ha⁻¹, N3= 240 N ha⁻¹, N4= 360 Kg N ha⁻¹.

3.4.2 Diseño de tratamientos

En el (Cuadro 5) se observa detalladamente la combinación de los tratamientos.

Cuadro 5: Combinación de tratamientos

Nº de Tratamientos	Fuentes de Nitrógeno	Niveles de nitrógeno (Kg ha ⁻¹)
1	Urea común	0
2	Urea común	120
3	Urea común	240
4	Urea común	360
5	Inhibidor de la ureasa	0
6	Inhibidor de la ureasa	120
7	Inhibidor de la ureasa	240
8	Inhibidor de la ureasa	360
9	Inhibidor de la nitrificación	0
10	Inhibidor de la nitrificación	120
11	Inhibidor de la nitrificación	240
12	Inhibidor de la nitrificación	360

FUENTE: Elaboración propia.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el análisis estadístico se utilizó el diseño factorial de parcelas divididas, con tres repeticiones. En las parcelas se ubicaron las fuentes y en subparcelas los niveles de nitrógeno. Cada subparcelas tuvo 24 m² (4 m x 6 m) y fueron separados con bordos de 0.5 m de ancho. Los bordos de los canales de riego fueron de 1m de base. En la comparación

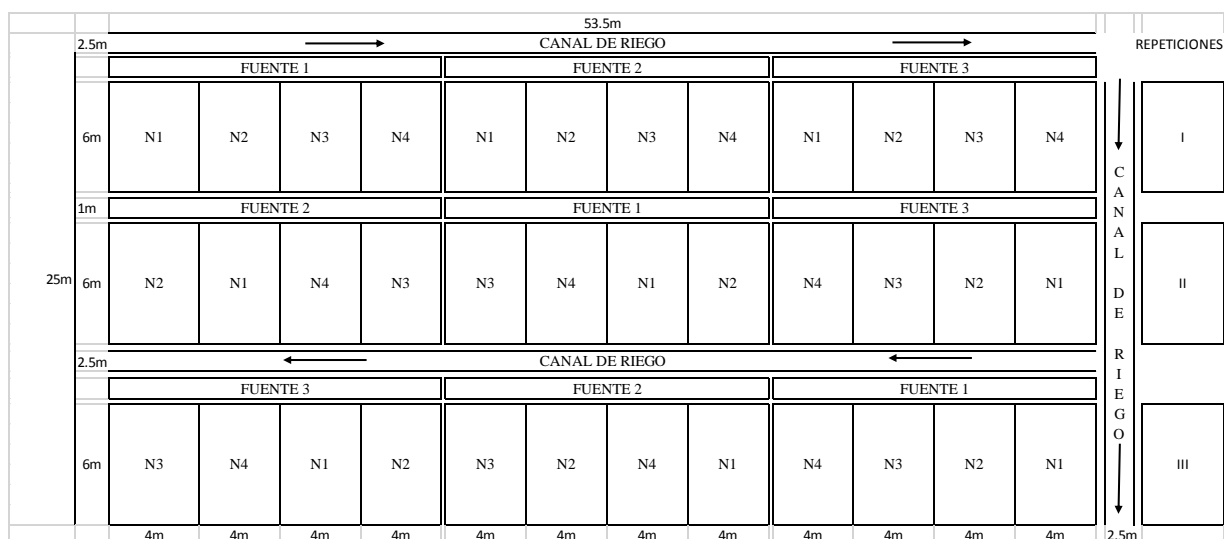
de medias de tratamientos y sub-tratamientos se utilizó la prueba de Duncan al 0.05 de probabilidad. Las parcelas fueron randomizadas en las repeticiones y las subparcelas en las parcelas.

3.5.1 Especificación del experimento

Delineamiento del campo Experimental

	Parcelas Divididas
1. Diseño	
2. Fuentes de nitrógeno (Parcelas)	3
3. Niveles de nitrógeno (Subparcela)	4
4. Número de repeticiones	3
5. Número de parcelas	9
6. Número de subparcela	36
7. Área de cada parcela (16 m x 6 m)	96 m ²
8. Área de cada subparcela (6 m x 4 m)	24 m ²
9. Área total de parcelas o área neta del experimento	864 m ²
10. Área de caminos	599 m ²
11. Área total del ensayo (58.5m x 25m)	1463 m ²

3.5.2 Croquis del campo experimental



3.6 MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.6.1 Toma de muestras del suelo y preparación del terreno.

Antes de la preparación del suelo se tomó una muestra compuesta del mismo a 30 cm de profundidad y se procedió a enviarla al laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su análisis físico – químico. La preparación del suelo se realizó con arado de disco, luego se pasó la rastra y nivelación laser, finalmente se realizó el bordeado con el apoyo de un tractor, luego se dio el riego por inundación para proceder con el trasplante de plántulas.

3.6.2 Preparación de la semilla y manejo del almacigo.

Se realizó un almacigo, utilizando 200 gramos de semilla m^{-2} , la cual pasó por un proceso de germinación: se dejó 24 horas en remojo y 24 horas de abrigo, y el tercer día, se realizó el voleo.

Para el control de malezas, se aplicó a los 8 días del voleo de la semilla el herbicida Saturno 5% (Bentocarb) a la dosis de $6 g m^{-2}$.

Fertilización: se realizó en dos oportunidades.

- a. El primeo abono se realizó a los 12 días después del voleo con urea a una dosis de $75 kg N ha^{-1}$.
- b. La segunda fertilización se realizó a los 17 días después del voleo con sulfato de amonio a una dosis de $75 kg N ha^{-1}$.

3.6.3 Trasplante a campo definitivo

Se trasplanto a los 30 días de haber voleado la semilla en el almacigo, con un tamaño promedio de plántula de 30 cm, y un distanciamiento de 25 cm entre hileras y 25 cm entre golpes de 4-5 plántulas.

a. Riego

El riego fue de inundación continua y estática. Cada sub-parcela tuvo riego independiente y se rellenaron cuando se aplicó el fertilizante al voleo.

b. Fertilización

La fertilización se realizó 50% después del prendimiento (15 días después del trasplante) y 50% al inicio de la fase reproductiva. Esta forma de aplicar el nitrógeno es la más común. La aplicación se hizo al voleo en parcela inundada. La lámina de agua se mantuvo entre 5-10 cm de altura durante el cultivo. Las cantidades aplicadas por subparcelas se indican en el (Cuadro 6).

Cuadro 6: Cantidad de fertilizante aplicado por subparcelas por fuentes y niveles de N al 50%. EE.VF-2016-I

Tratamientos	Niveles de N (Kg ha ⁻¹)			
	N1	N2	N3	N4
	0	120	240	360
Fertilizante:				
- Urea común e Inhibidor de ureasa (g subparcelas ⁻¹)	–	312	624	936
-Inhibidor de nitrificación (g subparcelas ⁻¹)	–	336	672	1008
-Fósforo(super fosfato triple)	–	312g	312g	312g
-Potasio (sulfato de potasio)	-	288g	288g	288g

c. Control de malezas

Para el control de malezas se realizó tres aplicaciones durante todo el periodo del cultivo:

- Inmediatamente después del transplante, se aplicó el herbicida pre emergente granular CHEM-RICE 5G (Butachlor), a dosis de 50kg ha⁻¹, aplicándose 120g por subparcela de 24 m².
- Para las malezas dicotiledóneas se aplicó un herbicida post emergente AMINA 6 liquido (2,4-D), a dosis de 1.5 L 200 L⁻¹, en los bordos.
- Aplicación con Roundup 300ml 15L⁻¹ agua a las calles y bordos permanentes.

d. Control de plagas

Para el control de insectos se realizó dos aplicaciones durante toda la etapa del cultivo.

- Se aplicó DANTOTSU (Clothianidin), 150g 200L⁻¹ más TRHU MASTER (Coadyuvante) para el control de mosca minadora (*Hydrellia whirti*), 36 días después del trasplante.
- Para el control de sogata (*Tagosodes orizicolus*), mosca minadora (*Hydrellia whirti*), y cogollero (*Spodoptera frugiperda*), se aplicó una mezcla de IMIDALTOP (Imidacloprid), 100 ml 200 L⁻¹, DANTOTSU (Clothianidin), 150g 200L⁻¹, y TRACER 120 SC (Spinosad), 100 ml 200 L⁻¹.

3.7 VARIABLES EVALUADAS

Durante el desarrollo del cultivo se evaluó el rendimiento, crecimiento de la biomasa desde el macollaje hasta la maduración fisiológica del grano. A la cosecha se tomó altura de la planta, se realizaron los muestreos de panículas para las determinaciones de los componentes de rendimientos, se extrajeron muestras para índice de cosecha y determinación de nitrógeno en el cultivo.

3.7.1 Rendimiento

El rendimiento se obtuvo cosechando el área neta de 15 m² por subparcela. Se expresó en toneladas por hectárea con 14% de contenido de humedad.

3.7.2 Materia seca

Se tomaron muestras al macollamiento, floración al 50% y maduración fisiológica del grano. Se tomaron golpes al azar por sub-parcela, se eliminaron las raíces. Estas muestras fueron colocadas a 70°C en estufa hasta peso constante.

3.7.3 Altura de planta a la cosecha (cm)

La altura se midió desde la base del tallo, a la punta de la panícula. Se tomaron cinco puntos por sub-parcela al azar en tres repeticiones.

3.7.4 Longitud de panícula (cm)

Se midieron panículas tomadas al azar por tratamiento en dos repeticiones, desde el nudo ciliar hasta el ápice del grano más pronunciado sin incluir las aristas, y se calculó el promedio. Se expresa en centímetros.

3.7.5 Componentes de rendimiento

Los componentes del rendimiento, se determinaron en el campo, número de panículas m^{-2} (contando las panículas en 4 golpes por sub-parcela, en dos repeticiones). El número de granos se realizó contando los granos totales maduros y vanos en diez panículas, y el peso de mil granos que se tomó del área neta de cosecha al azar con 14 % de contenido de humedad.

3.7.6 Características biométricas del grano

Para determinar el largo, ancho y espesor del grano se tomaron diez granos de arroz cáscara al azar en dos repeticiones, y se midió con la ayuda de un vernier. Se expresó en milímetros de acuerdo a la siguiente escala.

DENOMINACIÓN	ESCALA
Extra largo	>7.50 mm
Largo	6.61 a 5.50 mm
Medio	5.51 a 6.60 mm
Corto	<5,51 mm

FUENTE: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1989)

3.7.7 Índice de cosecha

Es la relación entre el rendimiento en grano seco y el rendimiento biológico total. Este índice es calculado con la ayuda de la ecuación $IC = (\text{Rendimiento en grano} / \text{rendimiento (grano+paja)})$ (Fageria y Baligar, 2005).

Se tomaron cuatro golpes por tratamiento en dos repeticiones. Se separó los granos de la paja para su secado en la estufa a 70°C hasta obtener un peso constante. La materia seca total se obtuvo sumando el peso de los granos, más la paja.

3.7.8 Acumulación de nitrógeno

Para la acumulación de nitrógeno, se tomaron muestras de 10 tallos con sus respectivas hojas y granos en dos repeticiones. Se utilizó el método de Kjeldahl. Se determinó el % de nitrógeno en la paja (tallos y hojas) y en los granos, luego se multiplicó por la materia seca obtenida a la cosecha tanto en granos y paja, y se sumaron ambos valores para obtener el nitrógeno total absorbido por la planta en kg ha^{-1} .

3.7.9 Calidad molinera

Para determinar la productividad industrial, se utilizó el rendimiento de molinería. Se pilaron 100g de arroz cáscara por cada tratamiento en dos repeticiones en un molino de prueba marca Zaccarías y se tomó como criterio de calidad, el rendimiento de arroz pilado de grano entero. A mayor rendimiento de grano entero mejor calidad.

3.7.10 Índice de traslucencia

Para determinar el índice de traslucencia se tomó 20 gramos de arroz pilado por tratamiento al azar en dos repeticiones, y se clasificó de acuerdo a la siguiente escala para identificar las formas tizosas:

- Grano Traslúcido (0)
- Grano con mancha difusa (1)
- Grano con dorso blanco (2)
- Grano con centro blanco (3)
- Grano con panza blanca (4)
- Grano completamente tizoso (5)

Una vez clasificados se anotó el número de granos que corresponde a cada una de las formaciones opacas, después se multiplicó la calificación por el número de granos. Se sumó los productos y se obtuvo el promedio (en función al total de granos evaluados). Cuando más bajo es el valor más trasluciente es la muestra evaluada (**Un valor igual o menor a 0.7, nos indica una apariencia excelente**) (Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1989).

3.7.11 Proteína en grano pilado

El contenido de proteína en grano pilado se determinó multiplicando el porcentaje de nitrógeno de los granos pilados por el factor proteínico 6.25 del arroz. El porcentaje de nitrógeno en granos pilados se obtuvo mediante el análisis de nitrógeno realizado por el método Kjeldahl.

3.7.12 Determinación de la eficiencia de uso de nitrógeno.

Para la determinación de la eficiencia de uso de nitrógeno, se utilizaron los siguientes indicadores:

- a. Eficiencia agronómica**, es la relación del rendimiento en grano producido por el tratamiento con la aplicación de nitrógeno menos el rendimiento del tratamiento sin nitrógeno, entre la cantidad de nitrógeno aplicado (Li, Xu, Quin, Shen, Sun, Hosen y He, 2015).

- b. Eficiencia de uso de nitrógeno**, es igual al total de nitrógeno absorbido en el tratamiento con nitrógeno menos el total de nitrógeno absorbido en el tratamiento sin aplicación de nitrógeno, entre los kilogramos de nitrógeno aplicado por ha⁻¹ por 100 (Li, Xu, Quin, Shen, Sun, Hosen y He, 2015).

- c. Factor de productividad parcial**, es la relación entre los kilogramos de arroz obtenido en el tratamiento con nitrógeno aplicado entre la cantidad de nitrógeno aplicado (Li, Xu, Quin, Shen, Sun, Hosen y He, 2015).

- d. Eficiencia fisiológica** (Yoshida, 1981), es la relación de diferencias de rendimiento del tratamiento aplicado con nitrógeno menos el rendimiento del tratamiento sin aplicación, entre la cantidad de nitrógeno absorbido en el tratamiento con aplicación de nitrógeno menos el tratamiento sin nitrógeno.

3.7.13 Calidad culinaria

La calidad culinaria, nos permite conocer el porcentaje de expansión del grano cocido. Se midió con la ayuda de un vernier, 10 granos de arroz pilado sin cocer y 10 granos de arroz cocido, luego la diferencia entre el arroz cocido y el arroz sin cocer se dividió entre el arroz

sin cocer y se multiplico por 100. Además se midió el volumen de agua absorbido y el tiempo de cocción, para la cocción de tres cuartos de arroz por sub-tratamiento en dos repeticiones. Se usó una cocina eléctrica y una olla pequeña.

3.7.14 Grado de dispersión alcalina

Se tomó 10 granos de arroz pilado por sub-tratamiento al azar, en dos repeticiones, se colocaron en una placa petri y se agregó 10 ml de hidróxido de potasio (KOH) al 1.7%, luego se llevó a la estufa a 30°C por 23 horas. Esta dispersión se determina con una escala de 1 al 7:

Grado 1, grano inalterado.

Grado 2, grado hinchado.

Grado 3, grano hinchado con fisuras leves.

Grado 4, grano un poco agrietado, con un halo blancuzco alrededor.

Grado 5, grano totalmente abierto, en ocasiones formando una gran masa.

Grado 6, grano casi totalmente desintegrado, difícilmente se observa su forma.

Grado 7, grano totalmente desintegrado.

Fuente: IRRI (1979).

3.7.15 Análisis económico

Se utilizó la metodología de presupuesto parcial, descrita por el programa de Economía del CIMMYT (1988).

El propósito de hacer un análisis económico es el de obtener suficiente evidencia que las opciones tecnológicas que se están proponiendo son factibles económicamente para los productores, en términos de generación de beneficios directos e indirectos medidos por unidades monetarias.

Según el CIMMYT, (1988), el paso inicial para realizar un análisis económico de ensayos en campo es calcular los costos que varían para cada uno de los tratamientos, es decir costos relacionados con insumos, mano de obra, preparación del suelo. Los costos variables totales en el estudio se determinaron con relación al costo de los fertilizantes y la semilla empleada. Los rendimientos obtenidos fueron reducidos en un 5% a fin de reflejar las diferencias entre

el rendimiento experimental y el rendimiento que los productores podrían obtener utilizando la misma tecnología. El rendimiento ajustado fue multiplicado por el precio en chacra del producto que fue de S/ 90.00 por saco de 70 kg de arroz en cáscara. El beneficio bruto se obtuvo de la multiplicación del rendimiento ajustado por el precio del producto. En cuanto al beneficio neto obtenido fue el resultado del beneficio bruto menos los costos variables para cada tratamiento (Cuadro 25). La metodología empleada, considera los siguientes parámetros:

Costos variables: costos de la semilla y los fertilizantes empleados.

Rendimiento: expresado en kg ha^{-1} .

Beneficio bruto: obtenido multiplicando el rendimiento por el precio del producto al momento de la cosecha.

Beneficio neto: es igual al beneficio bruto menos los costos totales de producción.

Dominancia: se efectúa, primero ordenando los tratamientos de menores a mayores totales de los costos que varían. Se dice entonces que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.

Tasa de retorno marginal: es la relación de los beneficios netos marginales sobre los costos variables marginales, expresado en porcentaje.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 RENDIMIENTO

La influencia del nitrógeno, en la producción de grano en arroz es espectacular. El uso de cultivares semi enanos, resistentes a la tumbada, han mejorado la eficiencia del nitrógeno, pero el incremento de los precios de los fertilizantes nitrogenados exigen optimizar su uso.

En este estudio, los rendimientos entre fuentes nitrogenadas variaron de 7.5 a 7.7 t ha⁻¹ diferencias que no fueron significativas (Anexo 1).

En la prueba de significación de Duncan 0.05, se confirma la falta de significación entre las fuentes nitrogenadas (Cuadro 7). El rendimiento más alto del ensayo lo presentó la fuente inhibidora de la nitrificación (I.N), seguido por el inhibidor de la ureasa (I.U) y urea común (Fig. 3).

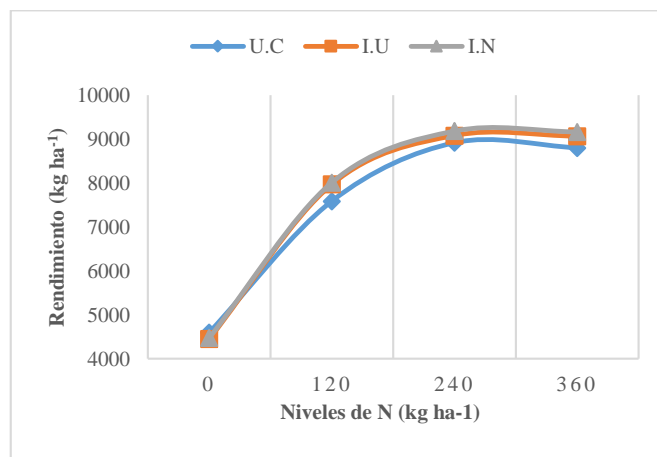


Figura 3. Rendimiento de arroz en cáscara para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

En los niveles de nitrógeno estudiados, hubo significación (Anexo 1). Los mayores rendimientos se obtuvieron en los niveles 240 y 360 kg N ha⁻¹ con 9.06 y 9.01 t ha⁻¹ aplicados en forma fraccionada, 50% del nivel a los 15 días después del trasplante y 50% restante al inicio de la fase reproductiva.

Estos resultados indican que el cultivar Tinajones tiene alta respuesta, a las aplicaciones de niveles crecientes de nitrógeno en el sistema de transplante. Entre estos niveles 240 y 360 Kg N ha⁻¹ no hubieron diferencias significativas de rendimiento, en la prueba de Duncan al 0.05 (Cuadro 7).

Estos resultados de rendimiento son sorprendentes, en relación a los obtenidos en las sub-parcelas sin aplicación de fertilizante. A nivel de 240 kg N ha⁻¹, el rendimiento fue de 200% mayor. El rendimiento del testigo sin aplicación de fertilizantes, varió de 4.45 a 4.60 t ha⁻¹ que es alto en comparación con los obtenidos en campo de agricultores debido a la recuperación natural del suelo, que se sembró después de 10 años sin siembra.

Cuadro 7: Rendimientos en t ha⁻¹, de fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016-I.

Fuentes	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Duncan 0.05	Niveles (Kg N ha ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Duncan 0.05
I.N	7.71	A	240	9.06	A
I.U	7.64	A	360	9.01	A
Urea Común	7.48	A	120	7.86	B
			0	4.51	C

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

⁽²⁾I.N= Inhibidor de la nitrificación, I.U = Inhibidor de la ureasa

FUENTE: Elaboración propia.

Durante las aplicaciones una parte del N se pierde por volatilización en forma de amoniaco a la atmosfera, y otra por percolación en forma de nitratos y nitritos. Las eficiencias miden el efecto del nitrógeno remanente en el metabolismo de las plantas, que se traduce en formación de biomasa. Estas pérdidas, evaluados indirectamente, a través del rendimiento en grano, son similares para las fuentes estudiadas (Cuadro 7).

Si las fuentes inhibidoras de la ureasa y nitrificación, liberan nitrógeno, con lentitud y aseguran la estabilidad del nitrógeno en el suelo en forma de NH₄⁺, reduciendo las pérdidas de nitratos por lixiviación, permitiendo a las plantas disponer de nutrientes en forma más

uniforme y por más tiempo, esta disponibilidad no se tradujo en mayores rendimientos, alcanzando estas fuentes rendimientos similares a la urea común.

La alta variabilidad de los efectos de los fertilizantes nitrogenados de eficiencia mejorada (EENF) en pre inundación sugiere que hay condiciones bajo las cuales estos productos pueden ser más efectivos. Observando más cercanamente los estudios de pre inundación, relativamente altos beneficios de EENF (incremento en rendimiento de 14 a 76%) fue reportado en tres estudios para algunos de los tratamientos y/o sitios (Carreres *et al.*, 2003; Norman *et al.*, 2009; Slaton *et al.*, 2009; citado por Bruce, Lijun, Chris y Kees, 2013).

La liberación de nitrógeno en urea recubierta con azufre (fertilizantes de lenta liberación) y agrotain (fertilizante con inhibidor de la ureasa) es controlado por el espesor del revestimiento, microbicida y tiempo de contacto con el suelo (Hayat and Khan, 2013; citado por Khan, citado por Khan, Afzal, Wahab, Khalil, Ping, Quiaojing y Zhou, 2015).

Muchos estudios se han llevado a cabo en diferentes sistemas agrícolas que indican que las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados con inhibidores de la ureasa o inhibidores de la nitrificación mejoran la biodisponibilidad del nitrógeno, dando como resultado un aumento en la producción vegetal y consumo de nitrógeno (Watson *et al.*, 1998; Xu *et al.*, 2002; Zaman *et al.*, 2005; citado por Nasima, Khanif, Hanfi, Wan y Dharejo, 2011).

Para fines prácticos, la productividad parcial del nitrógeno, es la más conveniente. Se observa que esta productividad desciende con el aumento del nitrógeno aplicado (Fig. 4).

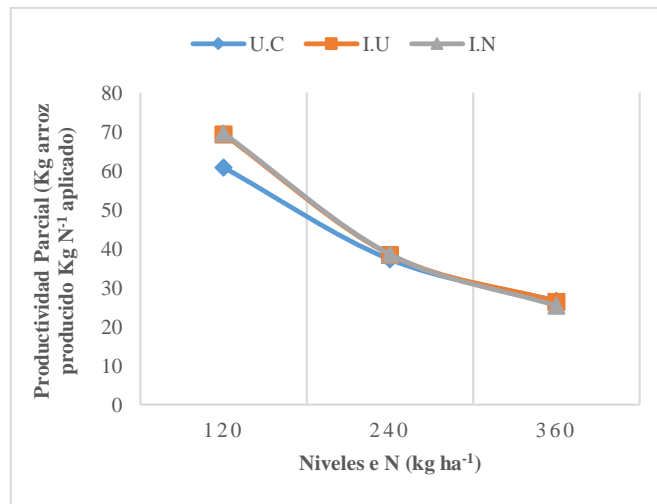


Figura 4. Productividad parcial para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.

Para condiciones de inundación, los fertilizantes que contienen amonio (sulfato de amonio) o que se descomponen en forma de amonio (urea), son los más recomendados para producción de arroz. (Benedict L. *et al.*, 2013).

A grandes cantidades de nitrógeno aplicado, habrá mayor impacto ambiental. Las tecnologías de manejo de fertilizantes deberán conducir hacia un cultivo sustentable (Xue, L. *et al.*, 2014). Deberá existir un balance entre la producción y el impacto ambiental.

El rendimiento en grano o rendimiento económico puede aumentar por el incremento total de la producción de materia seca o por el incremento del índice de cosecha. Hasegawa (2003; citado por Fageria, 2007) reportó que altos rendimientos de cultivares de arroz fueron asociados con alta producción de materia seca y que incrementando la materia seca e índice de cosecha igualmente contribuyen en aumentar el rendimiento.

Peng *et al.* (2000; citado por Fageria, 2007) reportó que aumentos en el rendimiento de cultivares de arroz bajo condiciones de riego, liberados por el Instituto Internacional de Investigación en Arroz (IRRI) en Filipinas después de 1980 fue debido al aumento en la producción de biomasa. Similarmente, Akita (1989) y Amano (1993), citados por Fageria (2007), reportaron que cuando las comparaciones fueron realizadas entre los cultivares mejorados semi enanos, rendimientos altos fueron alcanzados por el aumento en la producción de biomasa.

Deambrosi *et al.* (2004; citado por Garielli y Pintos, 2014), en ensayos realizados con la variedad INIA Olimar, evaluando diferentes densidades de siembra y dosis de nitrógeno (0; 40; 80 y 120 Kg ha⁻¹), encontraron diferencias significativas en rendimiento debido a aplicaciones de nitrógeno sin evidenciar diferencias estadísticas en el índice de cosecha. El rendimiento promedio del ensayo fue de 10,971 Kg ha⁻¹.

El rendimiento en grano fue influenciado por el tipo de fertilizante y el nivel de nitrógeno aplicado. El promedio anual de dos años fue significativamente con POCU (urea recubierta con poliolefina) mayor que con NCU (urea sin recubrimiento) y mayor respecto al control (11.4, 10.6 y 7.2 t ha⁻¹, respectivamente) (Li, Xu, Quin, Shen, Sun, Hosen y He, 2015).

Según Doberman y Fairhurst (2005; citado por Garielli y Pintos, 2014), aplicaciones excesivas de nitrógeno pueden reducir el rendimiento por las siguientes razones: sombreado entre hojas por el excesivo crecimiento vegetativo; incremento en el número de macollos improductivos que compiten con los fértiles reduciendo la producción de granos; vuelco causado por la producción de tallos largos y delgados; aumentan el número de granos estériles; aumentan la incidencia de enfermedades causadas por bacterias tales como *Xantomonas* u hongos como *Pyricularia*, debido al mayor crecimiento de las hojas y a una excesiva biomasa e incremento en la incidencia de insectos.

4.2 MATERIA SECA

La producción de materia seca tuvo tendencia creciente, en los niveles de nitrógeno aplicados y en las tres etapas vegetativas evaluadas (Fig. 5). También se observó que en la fase vegetativa de máximo macollamiento y maduración, que la fuente inhibidora de la nitrificación alcanzó valores por encima que la fuente inhibidora de la ureasa y urea común (Cuadro 8).

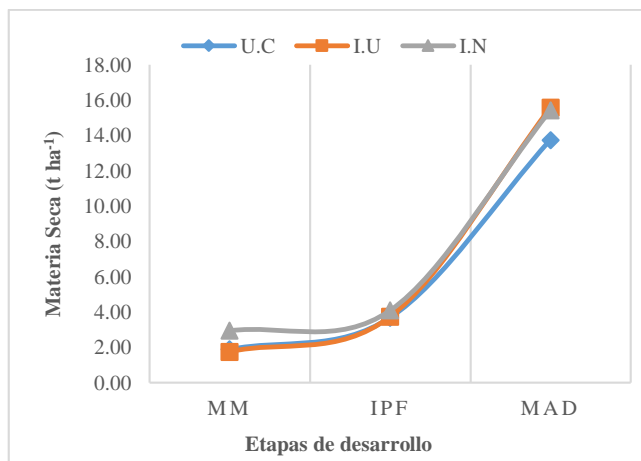


Figura 5. Materia seca al máximo macollamiento, inicio del primordio floral y a la maduración para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

MM = Máximo macollamiento. IPF = Inicio del primordio floral. MAD = Cosecha.

Cuadro 8: Materia seca en tres etapas vegetativas del cultivo para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I.

Fuentes	M.S.MM (t ha ⁻¹)	M.S.IPF (t ha ⁻¹)	M.S.MAD (t ha ⁻¹)
I.N	2.95A	4.10A	15.42A
I.U	1.76B	3.74B	15.58A
Urea Común	1.90B	3.70B	13.76A
Niveles			
0 Kg N ha ⁻¹	1.83C	3.24C	8.78D
120 Kg N ha ⁻¹	2.99A	3.79B	13.60C
240 Kg N ha ⁻¹	1.77C	4.11A	17.48B
360 Kg N ha ⁻¹	2.23B	4.27A	19.82A

M.S = Materia seca. MM = Máximo macollamiento. IPF = Inicio del primordio floral. MAD= Maduración. I.N = Inhibidor de la nitrificación. I.U = Inhibidor de la ureasa.

FUENTE: Elaboración propia.

En el análisis de variancia de materia seca al máximo macollamiento (Anexo 2), inicio del primordio floral (Anexo 3) se encontraron diferencias altamente significativas entre las fuentes nitrogenadas, niveles de nitrógeno y la interacción de fuentes por niveles. Para materia seca a la maduración (Anexo 4) hubo diferencia significativa entre fuentes y diferencias altamente significativas entre niveles y la interacción entre ambos.

La producción más alta de materia seca a la cosecha se alcanzó a 360 Kg N ha⁻¹, con el inhibidor de la ureasa (23.17 t ha⁻¹). A nivel cero, los valores variaron de (8.5 a 9.3 t ha⁻¹) (Fig.6).

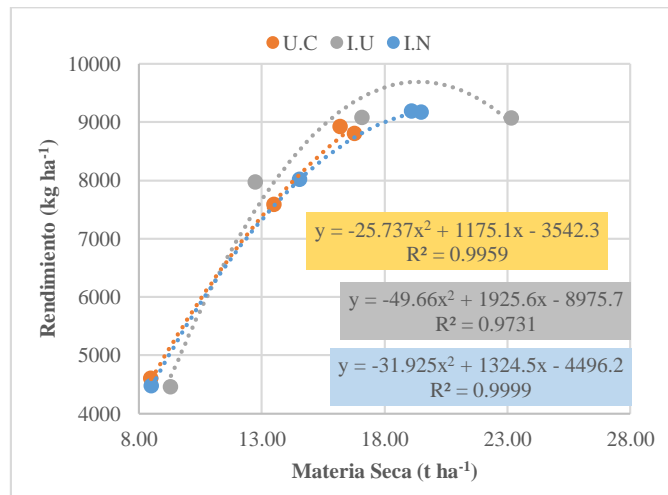


Figura 6. Correlación del rendimiento y materia seca a la cosecha para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

El rendimiento está relacionado al índice de cosecha (I.C.) y sigue la tendencia de la producción de la materia seca entre 40 a 45 %. El I.C más alto fue alcanzado con el nivel de 360 Kg N⁻¹ hasta 50% (Fig. 7).

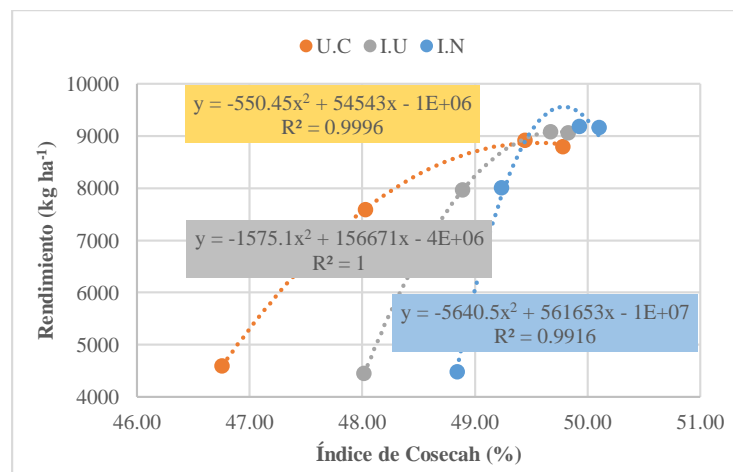


Figura 7. Correlación del rendimiento e índice de cosecha para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

4.3 ALTURA DE PLANTA A LA MADURACIÓN

En el análisis de variancia para fuentes de nitrógeno, no hubo diferencia estadística (Anexo 5). En niveles de nitrógeno, de 120, 240 y 360 Kg N ha⁻¹ fueron iguales estadísticamente. (Cuadro 9).

Cuadro 9: Altura de planta en cm, para fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF, 2016-I.

Fuentes	Altura de planta (cm)	Duncan 0.05	Niveles (KgNha ⁻¹)	Altura de planta (cm)	Duncan 0.05
Urea Común	87.00	A	360	88.50	A
I.U	85.46	A	240	88.17	A
I.N	85.05	A	120	86.38	A
			0	80.30	B

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

⁽²⁾I.U = Inhibidor de la ureasa. I.N = Inhibidor de la nitrificación.

FUENTE: Elaboración propia.

El incremento en altura de planta en respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, probablemente se debe a una mayor disponibilidad de nitrógeno y que mejoran el crecimiento de la planta (Indira, 2005; Chaturvedi, 2005; citado por Said, Yusop y Oad, 2014).

4.4 LONGITUD DE PANÍCULA

Los tratamientos fuentes de nitrógeno, no presentaron diferencias significativas (Anexo 6). Los niveles 240 y 360 Kg N ha⁻¹ fueron iguales estadísticamente con valores de 24.07 centímetros y 24.16 centímetros respectivamente. En caso del nivel cero (testigo) y 120 kg N ha⁻¹ fueron estadísticamente iguales con valores de 22.95 centímetros y 23.18 centímetros respectivamente. (Cuadro 10).

Cuadro 10: Longitud de panícula en cm, para fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016-I.

Fuentes	Longitud de panícula (cm)	Duncan 0.05	Niveles (KgNha ⁻¹)	Longitud de panícula (cm)	Duncan 0.05
I.N	23.81	A	360	24.16	A
Urea Común	23.62	A	240	24.07	A
I.U	23.33	A	120	23.18	B
			0	22.95	B

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

(2)I.N = Inhibidor de la nitrificación. I.U = Inhibidor de la ureasa.

FUENTE: Elaboración propia.

Cuando disminuyen los niveles de nitrógeno, la longitud de panícula se reduce significativamente en todos los tratamientos con fertilizantes nitrogenados. Witt *et al.* (2007; citado por Said, Yusop y Oad, 2014) reportó que el nitrógeno absorbido a la etapa de siembra, macollamiento e inicio de panícula del arroz, contribuyó con la longitud de panícula.

Metwally *et al.* (2011; citado por Said, Yusop y Oad, 2014), también encontró gran significancia en longitud de panícula debido a la influencia del nitrógeno en la maduración del cultivo, floración y formación de semillas.

4.5 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

El número de panículas por m⁻² vario de 302 a 337 entre fuentes, no existiendo significación estadística (Anexo 7). Entre niveles, el menor número de panículas se obtuvo en el nivel cero (sin aplicación de fertilizante) y el más alto de 389 en el nivel de 360 Kg N ha⁻¹ con significación estadística sobre 240 y 120 Kg N ha⁻¹. (Cuadro 11).

En el caso de la variable número de granos llenos por panícula las diferencias fueron mínimas para las fuentes nitrogenadas, variando de 130 a 137 granos llenos por panícula (Cuadro 11). En niveles de nitrógeno, varió de 126 para el testigo a 140 en el nivel 360 Kg N ha⁻¹. En los niveles 240 y 360 kg N ha⁻¹ no hubo significación (Anexo 8), pero fueron superiores al nivel 120 Kg N ha⁻¹. (Cuadro 11).

El peso de 1000 granos, tuvo las menores diferencias entre fuentes y niveles (Anexo 9). El peso está determinado por el tamaño del cariósido, que está definido por la cavidad de las glumelas. Es un carácter muy poco variable. (Cuadro 11).

Los componentes del rendimiento fueron correlacionados positivamente con el rendimiento en grano ($r = 0.998$) (Cuadro 12), indicando que los componentes tienen alta relación con el rendimiento en grano, por lo general los componentes del rendimiento aumentan con el incremento de los niveles de nitrógeno (cuadro 11).

Cuadro 11: Componentes del rendimiento para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I

Fuentes	N° Panículas m ²	Granos llenos/ panícula	Peso 1000 granos (g)
I.N	337 A	137 A	25.98 A
I.N	304 A	135 A	25.52 A
Urea Común	302 A	130 A	26.17 A
Niveles			
0 Kg N ha ⁻¹	219 C	126 C	25.70 A
120 Kg N ha ⁻¹	310 B	134 B	25.93 A
240 Kg N ha ⁻¹	339 B	140 A	25.88 A
360 Kg N ha ⁻¹	389 A	137 A	25.68 B

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

⁽²⁾I.N =Inhibidor de la nitrificación. I.U= Inhibidor de la ureasa.

Cuadro 12: Coeficiente de correlación múltiple (r) y coeficiente de determinación (R²) entre rendimiento y componentes del rendimiento para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple (r)	0.998797
Coeficiente de determinación R ²	0.997596
R ² ajustado	0.996695
Error típico	0.157697
Observaciones	12

FUENTE: Elaboración propia.

Correlaciones: RDT0, NPM2, NGLLXP, P1000G			
	RENDIMIENTO	NPM2	NGLLXP
NPM2	0.991		
NGLLXP	0.877	0.829	
P1000G	-0.335	-0.393	-0.426

Interpretación de la matriz de correlaciones realizada con minitab: El valor 0.991, nos indica que hay una fuerte correlación directa entre el rendimiento y el número de panículas por metro cuadrado (NPM2). En caso de la variable número de granos llenos por panícula, mostró un valor de 0.877 lo que indica que también existe una alta correlación directa entre el número de granos llenos por panícula (NGLLXP) y el rendimiento. El valor de r de -0.335, indica que existe una correlación inversa entre el peso de mil granos y el rendimiento; esta variable no tiene una influencia importante en el rendimiento. También se puede ver en forma gráfica lo explicado anteriormente (Figura 8).

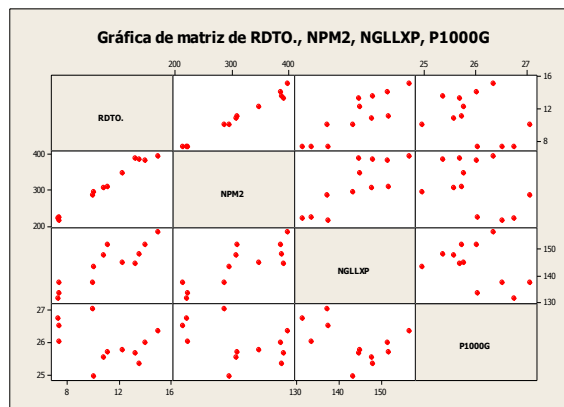


Figura 8. Gráfica de matriz rendimiento versus número de panículas por m², número de granos llenos por panícula y peso de mil granos.

La relativa contribución de los componentes al rendimiento en grano está ilustrado en la (Fig. 9, 10 y 11). El número de panículas por m² tuvo mayor contribución al rendimiento para todas las fuentes y niveles de nitrógeno, el número de granos llenos por panícula contribuyo aumentar el rendimiento para todas las fuentes a bajos niveles de nitrógeno, existiendo la tendencia a decaer la curva por encima del nivel 240 kg N ha⁻¹ y el peso de mil granos tuvo poca influencia en el rendimiento en grano, sugiriendo que la respuesta al nitrógeno es principalmente una función de la capacidad del macollamiento efectivo.

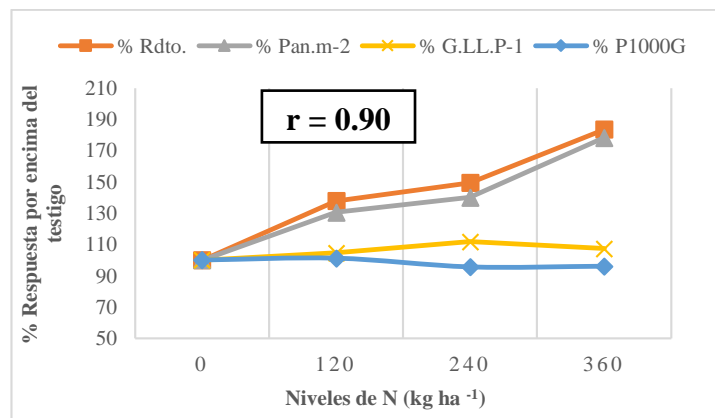


Figura 9. Análisis de correlación múltiple del rendimiento en grano con los componentes del rendimiento para urea común. EEVF, 2016-I

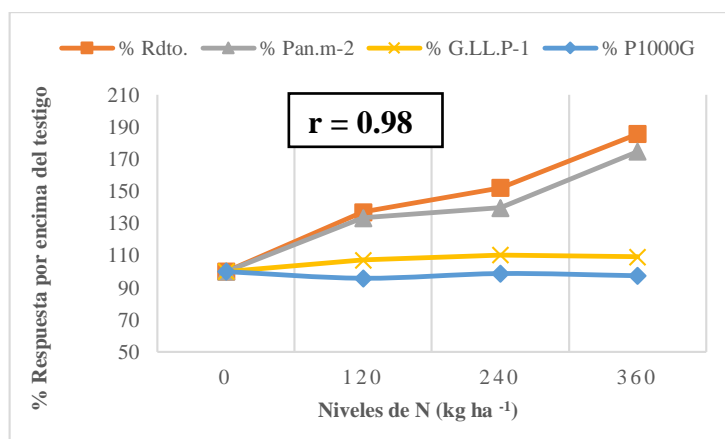


Figura 10. Análisis de correlación múltiple del rendimiento en grano con los componentes del rendimiento para el inhibidor de la ureasa. EEVF, 2016-I

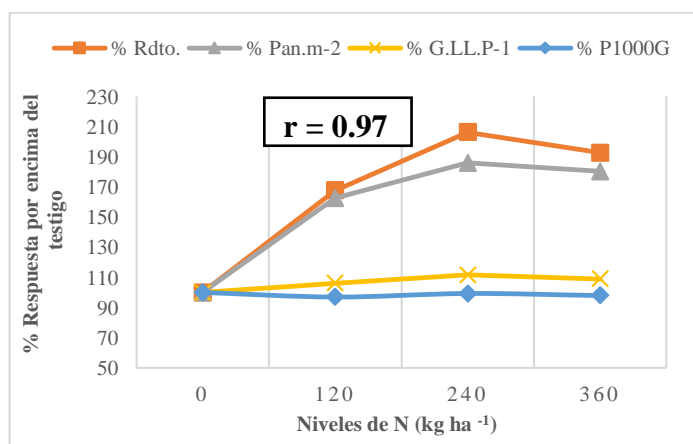


Figura 11. Análisis de correlación múltiple del rendimiento en grano con los componentes del rendimiento para el inhibidor de la nitrificación. EEVF, 2016-I

Fageria y Baligar (2001) reportaron que la aplicación de nitrógeno en una cantidad adecuada contribuyó con el 91% de variación en número de panículas por m², con el 75% de variación en granos estériles, y cerca del 73% de variación en el peso de 1000 granos. Para este estudio se obtuvo una variación de 99.1% en el número de panículas por metro cuadrado, alrededor de 87.7% en el número de granos llenos por panícula y el 33.5 % en peso de mil granos.

Ottis y Talbert (2005; citado por Fageria, 2007) reportaron una alta correlación ($R^2 > 0.85$) entre rendimiento y densidad de panícula. Para el caso de este estudio también se obtuvo una alta correlación ($R^2 = 0.9975$) entre el rendimiento en grano y los componentes del rendimiento. (Cuadro 12).

El factor más importante en la determinación del número de espiguillas durante el estado reproductivo, es la cantidad de nitrógeno absorbido, aunque la fotosíntesis también contribuye en la determinación del número de espiguillas (Ishii, 1995; citado por Fageria, 2007).

El nitrógeno es necesario para la planta de arroz durante la etapa vegetativa para promover el crecimiento y macollamiento, que determina el número potencial de panículas (Mae, 1997; citado por Said, Yusop y Oad, 2014).

Dada la importancia de la fertilización nitrogenada para el mejoramiento de las panículas, es necesario conocer la mejor fuente de urea y el tiempo de aplicación (Jan *et al.*, 2010; citado por Said, Yusop y Oad, 2014).

Las fuentes, los niveles y el tiempo de aplicación de los fertilizantes nitrogenados tienen un rol importante en la determinación de la absorción de los fertilizantes por las plantas, así como la distribución suelo planta (Kichey *et al.*, 2007; citado por Said, Yusop y Oad, 2014).

La disponibilidad de nutrientes y un mejor crecimiento de las plantas podría ser la causa de un grano más pesado con 120 kg N ha⁻¹ (Said, Yusop y Oad, 2014). Generalmente, el peso del grano es un rasgo genéticamente controlado, que está muy influenciado por las

condiciones ambientales que prevalecen durante el proceso de llenado del grano (Kausar *et al.*, 1993; citado por Said, Yusop y Oad, 2014).

Metwally *et al.* (2011; citado por Said, Yusop y Oad, 2014) informaron que el aumento en peso de 1000 granos se debió a suficiente cantidad de nitrógeno en el suelo. Por lo tanto, se necesita una tasa de N adecuada para un mayor peso de grano (Hirzel *et al.*, 2011; citado por Said, Yusop y Oad, 2014).

4.6 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DEL GRANO

En el análisis de variancia de las características biométricas (longitud de grano, ancho de grano y espesor de grano) para arroz en cáscara, no se encontraron diferencias significativas entre fuentes, niveles ni en la interacción de ambos factores. (Anexo 10,11 y 12).

En el cuadro 13, se observa los datos de las características biométricas del grano para fuentes y niveles de nitrógeno.

Cuadro 13: Características biométricas del grano para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I

Fuentes	Longitud de grano (mm)	Ancho de grano (mm)	Espesor de grano (mm)	Relación (L/A)
Urea común	9.98 A	2.46 A	1.89 A	4.06 A
I.N	9.87 A	2.45 A	1.89 A	4.03 A
I.U	9.82 A	2.43 A	1.87 A	4.04 A
Niveles				
0	9.88 A	2.46 A	1.89 A	4.02 A
120 Kg N ha ⁻¹	9.92 A	2.48 A	1.89 A	4.00 A
240 Kg N ha ⁻¹	9.90 A	2.39 A	1.87 A	4.14 A
360 Kg N ha ⁻¹	9.85 A	2.46 A	1.89 A	4.00 A

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

⁽²⁾I.N = Inhibidor de la nitrificación. I.U = Inhibidor de la ureasa.

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo a los valores de longitud de grano obtenidos en fuentes y niveles de nitrógeno, la variedad de arroz Tinajones, con la que se realizó el experimento se confirma que se encuentra dentro de la clasificación de grano extra largo por tener una longitud mayor a 7mm. Y en relación a largo/ancho (L/A) pertenece a la clasificación de grano delgado por tener una relación promedio mayor a 3 (Cuadro 13).

4.7 ÍNDICE DE COSECHA

En este estudio, hubo diferencias significativas para fuentes nitrogenadas (Anexo13), siendo la fuente inhibidora de la nitrificación de mayor índice de cosecha con 49.53%, seguido por la fuente inhibidora de la ureasa con 49.10% y urea común con 48.51%. (Cuadro 15). En las tres fuentes nitrogenadas se observa que a medida que aumentan los niveles de nitrógeno el índice de cosecha también aumenta (Fig. 12).

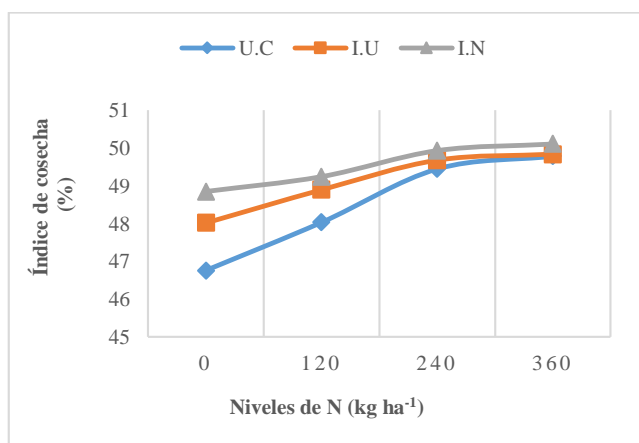


Figura 12. Comportamiento del índice de cosecha para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF-2016-I.

En la prueba de significación de Duncan 0.05, se confirma la significación, de las fuentes nitrogenadas (Cuadro 14).

En los niveles de nitrógeno estudiados, hubo significación (Anexo 13). El mayor índice de cosecha se obtuvo en los niveles 240 y 360 kg N ha⁻¹ con 49.68% y 49.91% respectivamente. Entre estos niveles 240 y 360 kg N ha⁻¹ no hubieron diferencias significativas, en la prueba de Duncan al 0.05 (Cuadro 14).

Cuadro 14: Índice de cosecha en %, en fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016-I.

Fuentes	Índice de cosecha (%)	Duncan 0.05	Niveles (Kg N ha ⁻¹)	Índice de cosecha (%)	Duncan 0.05
I.N	49.53	A	360	49.91	A
I.U	49.10	B	240	49.68	A
Urea Común	48.51	C	120	48.72	B
			0	47.87	C

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

⁽²⁾I.N = Inhibidor de la nitrificación. I.U = Inhibidor de la ureasa.

FUENTE: Elaboración propia.

Generalmente, la materia seca tiene una asociación positiva con el rendimiento en grano y el nitrógeno es importante para mejorar el índice de cosecha (Fageria *et al.*, 2004 y Fageria y Baligar, 2005). Los valores de índice de cosecha de cultivares modernos son comúnmente más altos que los cultivares tradicionales (Ludlow and Muchow, 1990; citado por Fageria, 2007).

Mae (1997; citado por Fageria, 2007) reportó que el índice de cosecha de cultivares de arroz tradicionales es alrededor de 0.30 (30%) y 0.50 (50%) para cultivares mejorados semi enanos. En este ensayo el índice de cosecha para fuentes oscilo entre 48.51% y 49.53, para niveles entre 47.87% y 49.91% siendo altamente significativos tanto para fuentes y niveles de nitrógeno (Anexo 13).

Los valores de índice de cosecha en arroz son muy variados entre cultivares, localidades, estaciones, y ecosistemas, y oscila desde 0.35 a 0.62 indicando la importancia de esta variable para la simulación del rendimiento (Kiniry *et al.*, 2001; citado por Fageria, 2007).

El índice de cosecha vario de 0.36 a 0.52 a bajos niveles de nitrógeno, con un valor promedio de 0.43. A niveles altos de nitrógeno, el índice de cosecha vario de 0.44 a 0.57 con un valor promedio de 0.51 (Fageria, 2007).

4.8 ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO (GRANOS + PAJA) A LA MADURACIÓN.

En los tratamientos fuentes de nitrógeno, no hubo diferencia estadística (Anexo 14). Mientras que en los sub-tratamientos niveles de nitrógeno, presentó diferencias estadísticas (Anexo 14) siendo superior el nivel 360 kg N ha⁻¹ con 219.64 kg N ha⁻¹, seguido por los niveles 240, 120 y 0 kg N ha⁻¹ con 192.73 kg N ha⁻¹, 141.45 73 kg N ha⁻¹ y 87.54 kg N ha⁻¹ respectivamente. (Cuadro 15). La fuente inhibidora de la ureasa presento mayor acumulación de nitrógeno, seguido por la fuente inhibidora de la nitrificación y urea común (Fig.13).

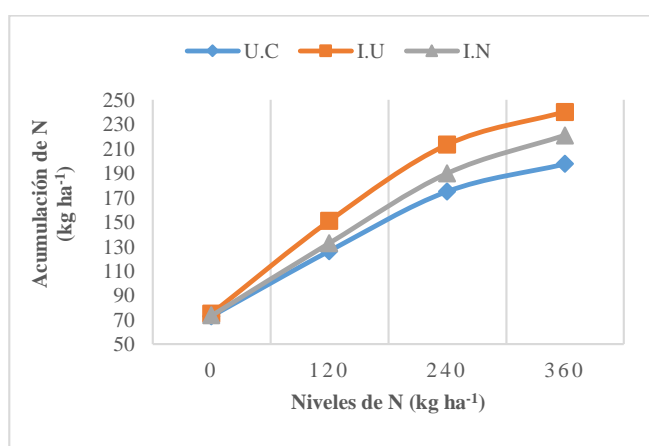


Figura 13. Acumulación de N a la maduración para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I.

Cuadro 15: Acumulación de nitrógeno, para fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016-I.

Fuentes	N absorbido (kg ha ⁻¹)	Duncan 0.05	Niveles (KgNha ⁻¹)	N absorbido (kg ha ⁻¹)	Duncan 0.05
I.U	173.27	A	360	219.64	A
I.N	164.85	A	240	192.73	B
Urea Común	142.9	A	120	141.45	C
			0	87.54	D

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

⁽²⁾I.U = Inhibidor de la ureasa. I.N = Inhibidor de la nitrificación.

FUENTE: Elaboración propia.

La acumulación de nitrógeno está relacionada con la materia seca a la maduración y tuvo una tendencia creciente, en los niveles de nitrógeno aplicados. La acumulación más alta se alcanzó a 360 Kg N ha⁻¹, con el inhibidor de la ureasa (173.27 kg N ha⁻¹). A nivel cero, los valores variaron de (72 a 75 kg N ha⁻¹) (Fig.14).

Las tasas de aplicación que coinciden exactamente con las necesidades del cultivo tienen menos nitrógeno residual (Andraski *et al.*, 2000; citado por Fageria, 2007). Por lo tanto, la cantidad de fertilizante, tiempo de aplicación y patrón de absorción reflejan la cantidad de nitrógeno en las plantas lo que conduce al uso eficiente del nitrógeno (Sta. Cruz y Wada, 1994; citado por Fageria, 2007).

Para variedades de alto rendimiento, el arroz puede extraer alrededor de 200 Kg N ha⁻¹, equivalente a 18.4 kg N t⁻¹ grano (Atanasiu, 1985; citado por Gabrielli y Pintos, 2013). Benintende *et al.*, (2011; citado por Gabrielli y Pintos, 2013), reportaron valores promedio de N absorbido durante todo el ciclo del cultivo para 3 cultivares de arroz en 119 kg N ha⁻¹. En Uruguay, los cultivares de arroz para obtener rendimientos promedio alcanzados a nivel comercial (superiores a 8 t ha⁻¹) absorben aproximadamente 170 kg N ha⁻¹ (Deambrosi *et al.*, 2007; citado por Gabrielli y Pintos, 2013), de los cuales según Fageria, citado por Carrillo *et al.*, (2001) 90 kg ha⁻¹ son extraídos en los granos y el resto queda en el rastrojo.

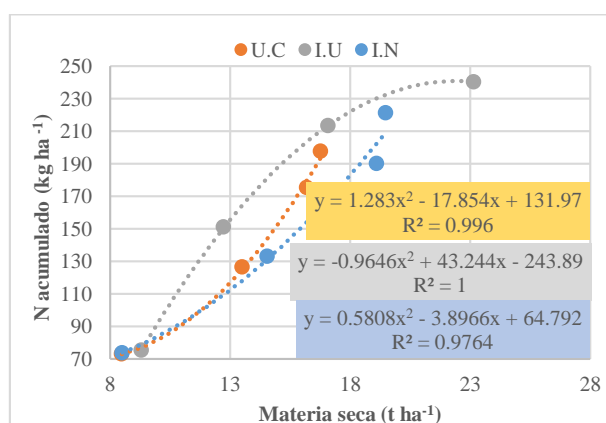


Figura 14. Correlación entre acumulación de nitrógeno y materia seca a la maduración entre fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

4.9 CALIDAD MOLINERA

En el análisis de variancia para el rendimiento de molinería (porcentaje de granos enteros y quebrados) no hubo diferencias estadísticas (Anexo 15, 16 y 17) para fuentes nitrogenadas, niveles de nitrógeno y la interacción entre ambos.

Las fuentes nitrogenadas, ni los niveles de nitrógeno, ejercieron grandes modificaciones en los rendimientos de molinería total, ni en el rendimiento de grano entero. El rendimiento promedio total de pila fue de 69% para fuentes y de 68 a 70% para niveles de nitrógeno. El mayor rendimiento de grano entero fue de 62% para el nivel de 120 kg N ha⁻¹ sin significancia entre niveles de nitrógeno. (Cuadro 16). Además la calidad molinera medida a partir de granos quebrados, es buena ya que está por debajo del 10%.

Cuadro 16: Calidad molinera para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I

Fuentes	Rdto. Molinería (%)	% Granos enteros	% Granos quebrados.
I.N	69.10 A	61.45 A	7.64 A
I.U	69.21 A	60.80 A	8.38 A
Urea Común	69.14 A	60.45 A	8.68 A
Niveles			
0 Kg N ha ⁻¹	67.87 A	59.03 A	8.78 A
120 Kg N ha ⁻¹	70.05 A	62.07 A	8.10 A
240 Kg N ha ⁻¹	68.57 A	60.90 A	7.68 A
360 Kg N ha ⁻¹	70.12 A	61.60 A	8.35 A

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

⁽²⁾I.N = Inhibidor de la nitrificación. I.U = Inhibidor de la ureasa.

4.10 ÍNDICE DE TRASLUSCENCIA

En el análisis de variancia del índice de traslucencia (Anexo 18), para fuentes nitrogenadas, y la interacción fuentes y niveles de nitrógeno no existieron diferencias significativas. En los sub-tratamientos niveles de nitrógeno, los niveles 120, 240 y 360 kg N ha⁻¹ no tuvieron significación siendo ligeramente superior el nivel 360 kg N ha⁻¹ con 0.083 de índice de traslucencia, el nivel cero fue inferior con 0.037 . (Cuadro 17).

Cuadro 17: Índice de traslucencia, para fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016⁽¹⁾

Fuentes	Índice de Traslucencia	Duncan 0.05	Niveles (KgNha ⁻¹)	Índice de Traslucencia	Duncan 0.05
Urea Común	0.068	A	360	0.083	A
I.U	0.061	A	240	0.071	A
I.N	0.061	A	120	0.063	A
			0	0.037	B

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

(2)I.U = Inhibidor de la ureasa. I.N = Inhibidor de la nitrificación.

Los resultados obtenidos indican bajos índice de traslucencia, es decir menores a 0.7, por lo tanto la apariencia de las muestras de arroz evaluados tanto para fuentes y niveles de nitrógeno son excelente.

4.11 PROTEÍNA EN GRANO PILADO

En el análisis de variancia para el contenido de proteína en grano pilado (Anexo 19) no se encontró diferencias significativas para los tratamientos fuentes de nitrógeno; siendo la fuente inhibidora de la nitrificación superior a la inhibidora de la ureasa y a la urea común (Fig. 15). En niveles de nitrógeno las diferencias fueron altamente significativas.

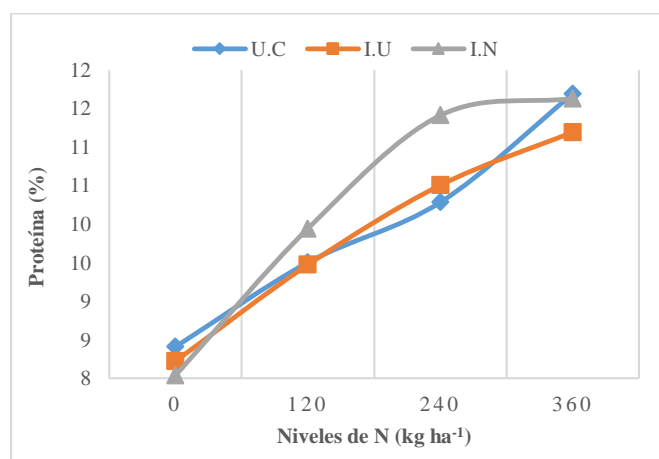


Figura 15. Porcentaje de proteína en grano pilado para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

Los niveles de nitrógeno aumentaron el contenido de proteína en el arroz pilado. En las fuentes de nitrógeno la proteína vario en un rango de 9.9 a 10.3%. A nivel cero, el contenido fue de 8.2% y a 360 Kg N ha⁻¹, 11.5%. (Cuadro 18).

Cuadro 18: Contenido de proteína en arroz pilado, para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

Fuentes	Promedio ⁽¹⁾ (%)	Duncan 0.05	Niveles (KgNha ⁻¹)	Promedio ⁽¹⁾ (%)	Duncan 0.05
I.N	10.25	A	360	11.50	A
I.U	9.97	A	240	10.73	B
Urea Común	9.85	A	120	9.64	C
			0	8.22	D

⁽¹⁾Medias con la misma letra no son significativos entre sí. Prueba Duncan 0.05.

(2)I.N = Inhibidor de la nitrificación. I.U = Inhibidor de la ureasa.

FUENTE: Elaboración propia.

El contenido total de nitrógeno en los granos depende de la cantidad de nutriente disponible en el suelo durante la etapa de llenado. Constatándose que a mayor dosis de nitrógeno aplicado como fertilizante el nivel de proteína en grano aumenta (Mejía de Tafur y Menjiuar; citado por Gabielli y Pintos, 2013).

4.12 DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS DE USO DE NITRÓGENO

En el análisis de variancia para la Eficiencia Agronómica (EA) (Anexo 20) se encontraron diferencias altamente significativas para los niveles de nitrógeno, en cambio para fuentes nitrogenadas y la interacción entre ambos no hubo diferencias estadísticas. Para la Eficiencia Fisiológica (EF) (Anexo 21) se encontró diferencia significativa para los niveles de nitrógeno, en cambio en fuentes y la interacción de fuentes por niveles no presentaron diferencias significativas. Para Eficiencia de Uso de Nitrógeno (EUN) (Anexo 22) se encontraron diferencias altamente significativas para fuentes y niveles de nitrógeno, en cambio las interacciones no presentaron diferencias significativas.

La EA tuvo tendencia decreciente, a medida que se incrementaron los niveles de nitrógeno (Fig. 16). A niveles de 240 y 360 kg N ha⁻¹, la eficiencia vario de 20 a 14 kilogramos de

arroz por kilogramos de nitrógeno aplicado (Cuadro 19). Entre fuentes la EA oscilo entre 22 y 21 kilogramos de arroz por kilogramo de nitrógeno aplicado (Cuadro 19).

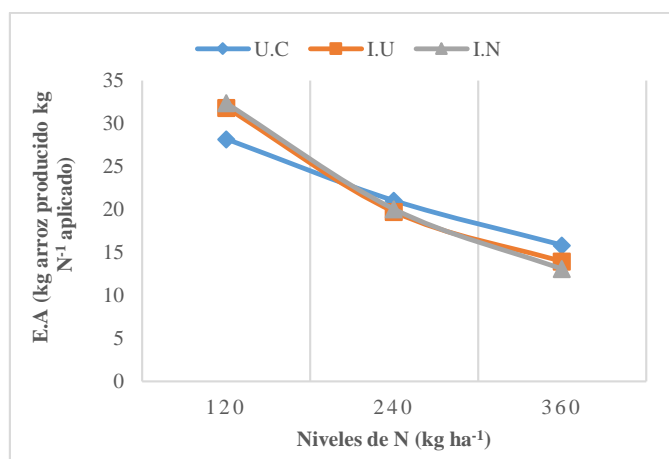


Figura 16. Eficiencia agronómica (kilogramos de arroz producido por kilogramo de nitrógeno aplicado), para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

La eficiencia fisiológica, fue más alta a niveles bajos, que a niveles de 360 Kg N ha⁻¹ (69 Kg versus 36 Kg de arroz producido por kilogramo de nitrógeno absorbido). (Fig.17).

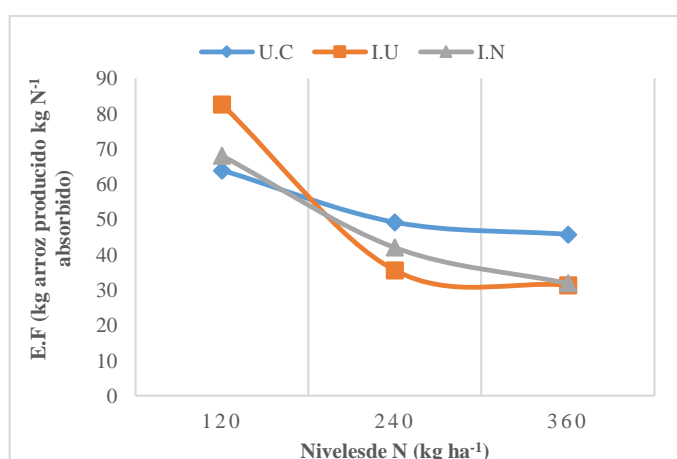


Figura 17. Eficiencia fisiológica (kilogramos de arroz producido por kilogramo de nitrógeno absorbido), para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

La eficiencia de uso vario entre niveles de nitrógeno aplicado (Fig. 18), siendo más alto en las aplicaciones de 120 Kg N ha⁻¹(52%) que a 360 Kg N ha⁻¹ (41%) (Cuadro 20). Entre fuentes vario de 56% (inhibidor de la ureasa) a 41% (urea común).

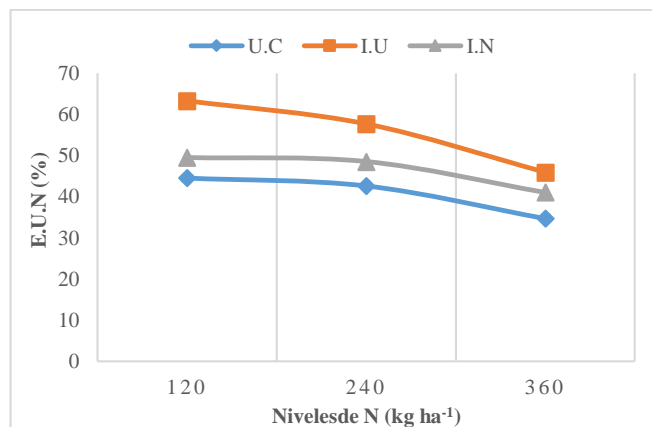


Figura 18. Eficiencia de uso de nitrógeno o eficiencia de recuperación, para tres fuentes y cuatro niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

Cuadro 19: Eficiencia agronómica, fisiológica y de uso de nitrógeno para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I.

Fuentes	E.A (Kg Arroz producido Kg N ⁻¹ aplicado)	E.F (Kg Arroz producido Kg N ⁻¹ absorbido)	E.U.N (%)
I.N	21.18 A	47.29 A	46.31 A
I.U	21.88 A	49.71 A	55.61 A
Urea Común	21.67 A	52.90 A	40.61 A
Niveles			
0 Kg N ha ⁻¹			
120 Kg N ha ⁻¹	30.81 A	71.45 A	52.41 A
240 Kg N ha ⁻¹	19.71 B	42.17 B	49.58 A
360 Kg N ha ⁻¹	14.21 B	36.28 B	40.53 B

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

⁽²⁾E.A (Eficiencia Agronómica), E.F (Eficiencia Fisiológica), E.U.N (Eficiencia de Uso de Nitrógeno), I.N = Inhibidor de la nitrificación, I.U = Inhibidor de la ureasa.

FUENTE: Elaboración propia.

La eficiencia de uso del nitrógeno, indicaría el potencial de pérdida de nutrientes de los sistemas de producción al ambiente (Fixen, P *et al.*, 2015).

La determinación de la eficiencia de uso, es confuso, por la gran cantidad de factores que la determinan: componente genético, suelo, atmosfera, manejo del agua, habilidad de los agricultores.

La recuperación del fertilizante nitrogenado aplicado al cultivo de arroz oscilaría desde 30 a 40%. Sin embargo, con mejores prácticas culturales, tal recuperación puede aumentar hasta 65% (De Datta, 1981).

El uso eficiente del nitrógeno (UEN) y la eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) son los mejores indicadores de la eficiencia del nitrógeno en campo (Moll *et al.*,1982; Weih *et al.*,2010; citado por Li, Xu, Qin, Shen, Sun, Hosen y He, 2015).

En general, 20 – 40% de UEN y 10 – 20 kg grano kg⁻¹ N de EAN puede ser mejorado por la disminución del suplemento de nitrógeno para arroz en los arrozales chinos (Cassman *et al.*,2002; Zhu and Chen, 2002; Wang *et al.*,2007; Huang *et al.*,2008; Zhang *et al.*,2008; Peng *et al.*,2010; citado por Li, Xu, Qin, Shen, Sun, Hosen y He, 2015). Este estudio indica que aplicaciones con un inhibidor de la ureasa y un inhibidor de la nitrificación comparado con urea común no fueron significativas, la eficiencia agronómica para estas fuentes fluctuó dentro de los rangos 21.2 y 21.8 kg arroz producido kg⁻¹ N aplicado, la eficiencia fisiológica varió entre 47.3 y 53 kg arroz producido kg⁻¹ N absorbido y la eficiencia de uso entre 40.6 y 55.6 % (Cuadro 19).

Eficiencia de utilización de la planta está entre 20 y 40% del nitrógeno aplicado (INIAP, 2004; citado por Valdiviezo, Sanchez, Valle y Macias, 2012).

Doberman (2007; citado por Valdiviezo, Sanchez, Valle y Macias, 2012), reporta intervalos de eficiencia agronómica de 10 a 30 kg de grano kg N⁻¹ aplicado.

La eficiencia agronómica fue inferior a 10 kg de grano kg N⁻¹ aplicado en los tratamientos con urea, y de 12,8 a 15,8 kg de grano kg N⁻¹ aplicado en los tratamientos con sulfato de amonio, nitrato de amonio y liberación controlada (Valdiviezo, Sanchez, Valle y Macias, 2012).

La eficiencia de recuperación (E.R) y la eficiencia agronómica (E.A) obtenida con los fertilizantes de lenta liberación fue mayor a los fertilizantes convencionales, siendo 33.61% (E.R) y 18,9 kg de grano kg N⁻¹ aplicado (E.A) para LC1 (38-0-0-13%S) y 62.67% (E.R) y 15,8 kg de grano kg N⁻¹ aplicado (E.A) para la mezcla de dos fertilizantes de lenta liberación

LC1 (38-0-0-13%S) + LC2 (38-0-0-11%S) (Valdiviezo, Sánchez, Valle y Macías, 2012).

La eficiencia agronómica promedio a lo largo de tres años sobre los niveles de nitrógeno, fue 23 kg de grano producido kg N⁻¹ aplicado. En promedio la eficiencia agrofisiológica fue 63 kg grano producido kg N⁻¹ acumulado en el grano más paja y la eficiencia de uso (recuperación aparente de nitrógeno) fue 39 % (Fageria y Baligar, 2007). En este estudio los resultados fueron similares, a medida que se incrementaron los niveles de nitrógeno, decrecieron las eficiencias, siendo el nivel de 120 kg N ha⁻¹ de mayor eficiencia agronómica, fisiológica y de uso (Cuadro 19).

La eficiencia de uso de nitrógeno (E.U.N) y la eficiencia agronómica (E.A) anual, fue mayor bajo POCU (urea recubierto con poliolefina) con valores de 50.0% y 22.1 kg grano kg N⁻¹ respectivamente, que utilizando NCU (urea sin recubrimiento) que presentó valores de 35.9% y 15.7 kg grano kg N⁻¹ respectivamente (Li, Xu, Quin, Shen, Sun, Hosen y He, 2015).

4.13 CALIDAD CULINARIA

En el análisis de varianza para el índice de expansión de grano (Anexo 23) se encontraron diferencias altamente significativas para fuentes, niveles y la interacción. Para volumen de agua a la cocción (Anexo 24) no existieron diferencias significativas entre fuentes, niveles ni la interacción y para tiempo de cocción (Anexo 25) se encontraron diferencias altamente significativas para niveles y la interacción, en cambio para fuentes solamente hubo diferencia significativa.

En el Cuadro 20, se observa el índice de expansión del grano, volumen de agua y tiempo de cocción. La fuente nitrogenada inhibidora de la ureasa presentó el más alto índice de expansión que fue de 26.58%, seguido por la fuente inhibidora de la nitrificación con 25.3% y urea común con 23.98%.

Cuadro 20: Calidad culinaria en arroz pilado para fuentes y niveles de nitrógeno EEVF, 2016-I.

Fuentes	Grado de Expansión (%)	Volumen de Agua (ml)	Tiempo de Cocción (min.)
Urea común	23.98 A	164.25 A	23.75 A
I.U	26.58 B	164.25 A	24.00 A
I.N	25.30 C	178.50 A	22.75 A
Niveles			
0	27.42 A	169.00 A	23.16 A
120 Kg N ha ⁻¹	22.45 B	169.00 A	21.50 B
240 Kg N ha ⁻¹	26.28 C	175.33 A	27.16 C
360 Kg N ha ⁻¹	25.00 D	162.67 A	22.16 C

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

⁽²⁾I.U = Inhibidor de la ureasa, I.N = Inhibidor de la nitrificación.

FUENTE: Elaboración propia.

4.14 GRADO DE DISPERSIÓN ALCALINA

En el análisis de variancia para el grado de dispersión alcalina (Anexo 26) se encontraron diferencias altamente significativas para niveles de nitrógeno y la interacción de fuentes por niveles, en cambio para fuentes nitrogenadas no existieron diferencias significativas. En el (Cuadro 21), se muestran los valores promedio de la prueba de Duncan.

Cuadro 21: Grado de dispersión alcalina, para fuentes y niveles de nitrógeno y prueba de significación Duncan al 0.05. EEVF 2016-I.

Fuentes	G.D.A	Duncan	Niveles (KgNha ⁻¹)	G.D.A	Duncan
		0.05			0.05
Urea Común	3.50	A	360	4.16	A
I.U	3.25	A	240	2.16	AB
I.N	4.00	A	120	4.50	B
			0	3.50	C

⁽¹⁾Prueba de Duncan = medias con la misma letra no son significativos entre sí.

⁽²⁾I.U = Inhibidor de la ureasa, I.N = Inhibidor de la nitrificación.

FUENTE: Elaboración propia.

4.15 RESUMEN DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Realizando el análisis estadístico para 29 variables, se determinó que las repeticiones presentaron significancia en las variables longitud de panícula (LP) y proteína (P), mientras que las variables materia seca al máximo macollamiento (MSMM), materia seca a inicio del primordio floral (MSIPF), número de panículas m⁻² (NPM2), acumulación de nitrógeno (AN) y eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), fueron altamente significativos, y las variables materia seca a la cosecha (MSM), índice de cosecha (IC), altura de planta (H), número de granos por panícula (NGXP), número de granos llenos por panícula (NGLLXP), porcentaje de granos llenos por panícula (PGLLXP), peso de mil granos (PMG), rendimiento de molinería (RM), porcentaje de granos enteros (PGE), porcentaje de granos quebrados (PGQ), índice de translucencia (IT), características biométricas del grano: longitud, ancho y espesor del grano (LG, AG y EG), calidad culinaria: índice de expansión del grano, volumen de agua y tiempo de cocción (IEG, VA y TC), grado de dispersión alcalina (GDA), eficiencia agronómica (EA), eficiencia fisiológica (EF), productividad parcial (PP) fueron no significativos (Cuadro 22, 23 y 24).

En el tratamiento fuentes de nitrógeno, presentaron alta significancia las variables materia seca al máximo macollamiento (MSMM), materia seca a inicio del primordio floral (MSIPF), índice de cosecha (IC), número de granos por panícula (NGXP), número de granos llenos por panícula (NGLLXP), acumulación de nitrógeno(AN), índice de expansión del grano (IEG) y eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), por otra parte las variables materia seca a la cosecha (MSC) y Tiempo de cocción (TC) fueron significativos y número de panículas m⁻² (NPM2), altura de planta (H), longitud de panícula (LP), porcentaje de granos llenos por panícula (PGLLXP), peso de mil granos (PMG), rendimiento de molinería (RM), porcentaje de granos enteros (PGE), porcentaje de granos quebrados (PGQ), índice de translucencia (IT), características biométricas del grano: longitud, ancho y espesor (LG, AG y EG), grado de dispersión alcalina (GDA), eficiencia agronómica (EA), eficiencia fisiológica (EF), productividad parcial (PP) y rendimiento (R) fueron no significativos (Cuadro 5, 6 y 7).

En el factor niveles de nitrógeno, presentaron alta significancia las variables materia seca al máximo macollamiento (MSMM), materia seca a inicio del primordio floral (MSIPF), materia seca a la cosecha (MSC), número de panículas m⁻² (NPM2), índice de cosecha

(IC), altura de planta (H), longitud de panícula (LP), número de granos por panícula (NGXP), número de granos llenos por panícula (NGLLXP), acumulación de nitrógeno(AN), índice de expansión del grano (IEG), tiempo de cocción (TC), proteína (P), eficiencia agronómica (EA), eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) y productividad parcial (PP), en cambio las variable índice de translucencia (IT) y eficiencia fisiológica (EF) fueron significativos y porcentaje de granos llenos por panícula (PGLLXP), peso de mil granos (PMG), rendimiento de molinería (RM), porcentaje de granos enteros (PGE), porcentaje de granos quebrados (PGQ), características biométricas del grano: longitud, ancho y espesor del grano (LG, AG y EG), y volumen de agua a la cocción (VA) fueron no significativos (Cuadro 22, 23 y 24).

La interacción del factor fuentes por niveles de nitrógeno no presentó significación en todas sus variables excepto materia seca al máximo macollamiento (MSMM), materia seca a inicio del primordio floral (MSIPF), materia seca a la cosecha (MSC), índice de expansión del grano (IEG), tiempo de cocción (TC) y grado de dispersión alcalina (GDA) fueron altamente significativos y la única variable significativa fue el índice de cosecha (IC) (Cuadro 22, 23 y 24).

Los coeficientes de variación de estas variables analizadas estadísticamente oscilaron dentro de los valores de 0.08 % índice de expansión del grano (IEG) y 29.17 % índice de translucencia (IT) (Cuadro 22, 23 y 24).

Cuadro 22: Resumen de la significancia estadística de 28 variables obtenidas en el experimento: “Respuesta de fuentes y niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) En condiciones del valle chancay, Lambayeque”

F. de V.	G.L	MSMM	MSIPF	MSM	NPM2	IC	H	LP	NGXP
Repetición	1	**	**	NS	**	NS	N.S	*	NS
F	2	**	**	*	NS	**	N.S	N.S	**
N	3	**	**	**	**	**	**	**	**
F*N	6	**	**	**	NS	*	N.S	N.S	NS
C.V (%)		4.69	4.69	6.74	8.93	0.49	2.54	2.36	1.42

Continuación...

NGLLXP	PGLLXP	PMG	AN	RM	PGE	PGQ	IT
NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
**	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
**	NS	NS	**	NS	NS	NS	*
NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
3.36	2.20	3.03	8.93	3.14	3.83	18.99	29.17

LG	AG	EG	IEG	VA	TC	GDA	P
NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
NS	NS	NS	**	NS	*	NS	NS
NS	NS	NS	**	NS	**	**	**
NS	NS	NS	**	NS	**	**	NS
1.65	3.03	3.04	0.08	13.51	3.01	16.11	3.09

F. de V. Fuente de variación; G.L. Grados de libertad; MSMM = Materia seca al máximo macollamiento. MSIPF = Materia seca a inicio del primordio floral. MSC = Materia seca a la cosecha. NPM2 = Número de panículas m⁻². IC = Índice de cosecha. H = Altura de planta. LP = Longitud de panícula. NGXP = Número de granos por panícula. NGLLXP = Número de granos llenos por panícula. PGLLXP = Porcentaje de granos llenos por panícula. PMG = Peso de mil granos. AN = Acumulación de nitrógeno. RM = Rendimiento de molinería. PGE = Porcentaje de granos enteros. PGQ = Porcentaje de granos quebrados. IT = Índice de traslucencia. LG = Longitud del grano. AG = Ancho del grano. EG = Espesor del grano. IEG= Índice de expansión del grano. VA = Volumen de agua. TC = Tiempo de cocción. GDA = Grado de dispersión alcalina. P = Proteína.

Cuadro 23: Resumen de la significancia estadística de las eficiencias de uso del nitrógeno obtenidos en el experimento: “Respuesta de fuentes y niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) En condiciones del valle chancay, Lambayeque”

F. de V.	G.L.	EA	EF	EUN	PP
Repetición	1	NS	NS	**	NS
F	2	NS	NS	**	NS
N	2	**	*	**	**
F*N	4	NS	NS	NS	NS
C.V (%)		25.83	30.66	7.48	9.37

F. de V. Fuente de variación; G.L. Grados de libertad; EA = Eficiencia agronómica. EF = Eficiencia fisiológica. EUN = Eficiencia de uso de nitrógeno. PP = Productividad parcial.

FUNTE: Elaboración propia.

Cuadro 24: Resumen de la significancia estadística del rendimiento en grano obtenido en el experimento: “Respuesta de fuentes y niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) En condiciones del valle chancay, Lambayeque”

F. de V.	G.L.	R
Repetición	2	NS
F	2	NS
N	3	**
F*N	6	NS
C.V (%)		11.36

F. de V. Fuente de variación; G.L. Grados de libertad; R = Rendimiento.

FUNTE: Elaboración propia.

4.16 ANÁLISIS ECONÓMICO

4.16.1 Análisis de presupuesto parcial

El análisis económico de las tres fuentes y cuatro niveles de nitrógeno, determinó que el mejor beneficio bruto lo presentó la fuente inhibidora de la nitrificación con el nivel 240 kg N ha⁻¹ con un valor de S/.11, 344 ha⁻¹, y el valor más bajo lo presento la fuente inhibidora de la ureasa con el nivel uno (sin aplicación de fertilizantes = testigo). (Cuadro 25)

Para el total de costos variables el tratamiento más caro fue el T3(Inhibidor de la nitrificación) con el nivel de 360 kg N ha⁻¹ y el tratamiento con mayor beneficio neto fue el T2 (Inhibidor de la ureasa) con el nivel 240 kg N ha⁻¹ que alcanzó un valor de S/. 10,118 (Cuadro 25).

4.16.2 Análisis de Dominancia

Un tratamiento es dominado por otro tratamiento cuando tienen beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos (CIMMYT, 1988).

Los tratamientos que no fueron dominados fueron: la urea común, la fuente inhibidora de la ureasa y la inhibidora de la nitrificación con los niveles 0, 120 y 240 kg N ha⁻¹. El nivel 360 kg N ha⁻¹ fue dominado por los tres tratamientos debido al valor alto en sus costos variables con relación a los beneficios netos, a diferencia de los otros niveles que presentaron bajos costos variables con altos beneficios netos. (Cuadro 26).

4.16.3 Tasa de Retorno Marginal.

La mejor Tasa de Retorno Marginal (TRM) se comparó partiendo del nivel 0 kg N ha⁻¹ para los tres tratamientos. Para los tratamientos urea común, inhibidor de la ureasa e inhibidor de la nitrificación del nivel 0 kg N ha⁻¹ al nivel 120 kg N ha⁻¹ hay una TRM de 843.78 %, 940.42% y 687.53% respectivamente, determinando que la mejor tasa de retorno se obtiene con la fuente inhibidora de la ureasa. (Cuadro 27).

La tasa de retorno marginal (TRM) atractivas por su mayor valor fueron calculados con los fertilizantes de lenta liberación LC1 (38-0-0-13%S) con una TRM de 372% y para la mezcla de los fertilizantes de lenta liberación LC1 (38-0-0-13%S) + LC2 (39-0-0-11%S) con 250% (Valdiviezo, Sánchez, Valle y Macías, 2012). En este ensayo la mayor TRM fue de 940.42% para la fuente inhibidora de la ureasa seguido por urea común con 843.78% y la fuente inhibidora de la nitrificación con 687.53%.

Cuadro 25: Análisis de presupuesto parcial para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

Rubros	T1				T2				T3			
	0	120	240	360	0	120	240	360	0	120	240	360
Rendimiento bruto (kg ha ⁻¹)	4598	7588	8916	8802	4452	7968	9079	9064	4476	8013	9185	9166
Rendimiento ajustado 5% (kg ha ⁻¹)	4367.68	7208.51	8470.46	8361.75	4229.54	7570.03	8625.09	8610.62	4252.39	7612.55	8726.07	8707.50
Beneficio bruto (S/x ha)	5677.99	9371.06	11011.60	10870.27	5498.41	9841.04	11212.62	11193.81	5528.11	9896.31	11343.90	11319.75
Costos Variables												
Semilla (S/ ha ⁻¹)	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Fertilizantes (S/ ha ⁻¹)	-	391.31	782.61	1173.92	-	417.39	834.78	1252.18	-	554.67	1109.33	1664.00
Total de costos variables (S/ ha ⁻¹)	260.00	651.31	1042.61	1433.92	260.00	677.39	1094.78	1512.18	260.00	814.67	1369.33	1924.00
Beneficio neto (S/ ha ⁻¹)	5417.99	8719.75	9968.99	9436.36	5238.41	9163.64	10117.83	9681.64	5268.11	9081.64	9974.57	9395.75

(1) Precio de arroz paddy en chacra (S/ 1.30 kg⁻¹)

(2) T1 = Urea común (S/ 1.50 x kg), T2 = Inhibidor de la ureasa (S/ 1.60 x kg), T3 = Inhibidor de la nitrificación (S/ 2.08 x kg).

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 26: Análisis de Dominancia para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

Fuentes	Niveles	Total de Costos Variables (S/ x ha)	Beneficio neto (S/ x ha)	Dominancia
T1	0	260.00	5417.99	ND
	120	651.31	8719.75	ND
	240	1042.61	9968.99	ND
	360	1433.92	9436.36	D
T2	0	260.00	5238.41	ND
	120	677.39	9163.64	ND
	240	1094.78	10117.83	ND
	360	1512.18	9681.64	D
T3	0	260.00	5268.11	ND
	120	814.67	9081.64	ND
	240	1369.33	9974.57	ND
	360	1924.00	9395.75	D

(1)T1 = Urea común, T2 = Inhibidor de la ureasa, T3 = Inhibidor de la nitrificación, ND = No Dominado, D = Dominado.

Cuadro 27: Análisis Marginal para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

Fuentes	Niveles	Costos Variables (S/ x ha)	Costos Variables marginales (S/ x ha)	Beneficio neto (S/ x ha)	Beneficio neto marginales (S/ x ha)	Tasa de Retorno Marginal (%)
T1	0	260.00		5417.99		
	120	651.31	391.31	8719.75	3301.77	843.78
	0	260.00		5417.99		
	240	1042.61	782.61	9968.99	4551.01	581.52
T2	0	260.00		5238.41		
	120	677.39	417.39	9163.64	3925.24	940.42
	0	260.00		5238.41		
	240	1094.78	834.78	10117.83	4879.43	584.51
T3	0	260.00		5268.11		
	120	814.67	554.67	9081.64	3813.53	687.53
	0	260.00		5268.11		
	240	1369.33	1109.33	9974.57	4706.46	424.26

⁽¹⁾C.V.M = Costos variables marginales, B.N.M = Beneficios netos marginales, T.R.M = Tasa de retorno marginal. ⁽²⁾T1 = Urea común, T2 = Inhibidor de la ureasa, T3 = Inhibidor de la nitrificación.

FUENTE: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

- Los niveles de nitrógeno, 240 y 360 kg N ha⁻¹ determinaron los máximos rendimientos en grano, en las tres fuentes, siendo el de mayor rendimiento la fuente inhibidora de la nitrificación con (9.19 y 9.17 t ha⁻¹), seguido por la fuente inhibidora de la ureasa con (9.10 y 9.06 t ha⁻¹) y urea común con (8.92 y 8.80 t ha⁻¹).
- Las fuentes nitrogenadas de lenta liberación: inhibidora de la ureasa y la fuente inhibidora de la nitrificación no han presentado diferencias significativas en rendimiento, respecto a la urea común, sin embargo incrementaron la eficiencia de uso del nitrógeno y redujeron las pérdidas en el sistema de cultivo de arroz inundado.
- Los componentes del rendimiento que más influyeron en el rendimiento en niveles de nitrógeno fueron el número de panículas por m², número de granos llenos por panícula, no existiendo influencia en el peso de mil granos.
- La calidad molinera evaluada en porcentaje de granos enteros y quebrados, no fueron influenciados por las fuentes ni los niveles de nitrógeno; sin embargo para la variedad (Tinajones) empleada en el ensayo, los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores establecidos en la ficha técnica del INIA.
- El análisis económico para las tres fuentes y cuatro niveles de nitrógeno dio como resultado, que la fuente inhibidora de la nitrificación con el nivel 240 kg N ha⁻¹ obtuvo el mejor beneficio bruto (S/. 11,343.90 ha⁻¹), y el mejor beneficio neto lo obtuvo la fuente inhibidora de la ureasa con el nivel 240 kg N ha⁻¹ (S/. 10,117.83 ha⁻¹). Para las tres fuentes el nivel 360 kg N ha⁻¹ fue dominado; es decir presentó altos costos variables con respecto a otro nivel con mayor beneficio neto y la mejor tasa de retorno marginal lo presentó la fuente inhibidora de la ureasa con 940.42%.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar más investigaciones con fertilizantes de lenta liberación de nitrógeno, tomando en consideración la influencia de las épocas de siembra, lugares, cultivares y manejo culturales, que influyen en la respuesta de los rendimientos.
- Realizar nuevos ensayos con rangos de 40 kg N ha⁻¹ a partir de 200 a 360 kg N ha⁻¹ incluyendo nuevas fuentes inhibidoras de nitrificación.
- Realizar demostraciones de campo y difundir los resultados por diferentes medios de comunicación, para que los agricultores puedan utilizar niveles adecuados de nitrógeno, y obtener mayores rendimientos con menor inversión e impacto ambiental.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abd El-Maksoud MF. 2008. Effect of levels and splitting of N-fertilization on growth, yield components, yield and grain quality of some rice cultivars. *Res J Agri Biol Sci.* 4:392-398.
- Adams, M. 1995. *Fundamentos de química de suelos.* Venezuela, Arauco. 393 p.
- Adediran, JA; Taiwo, LB; Akande, MO; Idowu, OJ; Sobulo, AA; Adediran, JA. 2004. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *J Plant Nutr.* 27:1163-1181.
- Andraski, TW; Bundy, LG; Brye, KR. 2000. Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. *J Environ Qual.* 29:1095-1103.
- Benedict, L; Fluitt, J; Regasa, R; Harsell, J; L; Leonardo, P. 2013. Reducing nitrogen volatilization losses in rice production L 50. *Luisiana agricultura magazine collage of agricultura.*
- Binti, F N; Yusop, M K; Oad, F Ch. 2014. Nutrient uptake,pH changes an yield of rice under slow reléase sulfur-coated urea fertilizers. *Crop Science.* 8(8): 1359-1366.
- Bruce, A; Lijun, L; Chris, VK y Kees, JG. 2013. *Field Crops Research.* 154: 246-254.
- Cabrera, RI. 1997. Comparative evaluation of nitrogen release patterns from controlled release fertilizers by nitrogen leaching analysis. *Hort. Sci.* 32(4): 669-673.

- Chaturvedi, I. 2005. Effect of nitrogen fertilizers on growth, yield and quality of hybrid rice (*Oryza sativa* L.) *J Central Eur Agr.* 6:611-618.
- Chien, SH; Prochnow, LI; Cantarella, H. 2009. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in agronomy* 102: 267 - 322.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1989. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. Guía de estudios para ser usado como complemento auditutorial. 73p
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, ME). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F. México. pp. 1-78
- Colacelli, A. 1997. Fertilizantes de liberación lenta. Facultad de Agronomía y Zootecnia de la UNT.
- Dastan, S; Siavoshi, M; Zakavi, D; Ghanbaria, A; Yadi, R; Ghorbannia, E; Nasiri, AR. 2012. Application of nitrogen and silicon rates on morphological and chemical lodging related characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) North of Iran. *J Agr Sci.* 4:6-7.
- Deambrosi, E; Mendez, R. 1996. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA. 79 p.
- De Datta, S. 1981. Principles and practices of rice production. Willey, Inc. New York. USA. 618p.
- Espinosa, PD. 2014. Efecto de la aplicación de dosis altas y bajas de nitrógeno en combinación con cuatro niveles de ácidos húmicos de degradación lenta en arroz

(oryza sativa l.). Tesis. Ing. Agr. Guayaquil, EC. Universidad de Guayaquil. 93p.

- Fageria, NK; Baligar, VC. 2001. Lowland rice responde to nitrogen fertilization. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 32: 1405-1429.
- Fageria, NK; Baligar, VC. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88: 97-185.
- Fageria, NK. 2007. Yield Physiology of Rice. *Journal of Plant Nutrition*, 30: 843-879.
- FAO (Organización de las Naciones Unidad Para la Agricultura y La Alimentación). 2002. Los Fertilizantes y su uso. INFA (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes). 77p.
- FARMEX, PE. Fertilizante Nitrogenado con Inhibidor de Nitrificación DMPP (3,4-dimethylpyrazolfosfato), para cultivos con alta demanda de nitrógeno formulado con la tecnología Novatec. <http://farmex.com.pe/productos/especialidades/fertilizante-edaficos/novatec-45.html>.
- Fixen, P; Brentrop, F; Bruulsema, TW; Garcia, F; Norton, R, Zincore, S. 2015. Nutrient fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends.
- FLAR (Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego, CO)/ CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). 2010. Production Eco-Eficiente del Arroz en América Latina. Tomo I. Colombia, CO. 487p.
- Frankenberger, WT; Tabatabai, MA. 1982. Amidase and urease activities in plants. *Plant Soil* 64: 153-166.
- Freney, JR; Simpson, JR; Denmead, OT. 1983. Volatilization of ammonia. In: *Gaseous*

Loss of Nitrogen from Plant-Soil Systems, J.R. Freney, and J.R. Simpson, (eds.). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague. 1-32.

- Gabrieli, AL; Pintos, FG. 2013. Respuesta a nitrógeno del cultivar inia olimar según tipo de riego y sistematización. Tesis. Ing. Agr. Montevideo. UR. 106p.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2015. Día Mundial de la Población, Estado de la Población Peruana 2015. Lima. Perú. 55p.
- INIA-PNIA EN ARROZ (Instituto Nacional de Innovación Agraria-Proyecto Nacional de Innovación Agraria en Arroz, PE) (en línea). Consultado el 30 mar. 2017. Disponible en <http://www.inia.gob.pe/programas/arroz>.
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, VE). 2004. El cultivo de arroz en Venezuela (en línea). Maracay. VE. Consultado el 31 de mar, 2017. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/99696118/El-Cultivo-Del-Arroz-en-Venezuela-INIA>.
- Importance of rice (en línea). Consultado el 30 de mar. 2017. Disponible en http://www.knowledgebank.irri.org/ericeproduction/Importance_of_Rice.htm.
- Khan, AZ; Ali, B; Afzal, M; Wahab, S; Khalil, SK; Amin, N; Ping, Q; Qiaojing, T y Zhou, W. 2015. Effects of sulfur and urease coated controlled release urea on dry matter yield, n uptake and grain quality of rice. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 25 (3): 679-685
- Kissel, DE; Cabrera, ML. 1988. Factors affecting urea hydrolysis. In *Ammonia volatilization from urea fertilizers*" (B. R. Bock and D. E. Kissel, eds.), Bulletin Y-206, pp. 53-66. National Fertilizer Development Center, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama.

- Lammel, J. 2005. Cost of the different options available to the farmers: Current situation and prospects. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
- Li, D; M. Xu, D. Lin, H. Shen, N. Sun; Yhosen; X, He. 2015. Polyolefin coated urea improves nitrogen use efficiency and net profitability rice cropping system. *Int. J. Agric. Biol.*, 17:1083 -1090.
- Lloyd, AB; Sheaffe, MJ. 1973. Urease activity in soils. *Plant Soil* 39: 71-80.
- Ludlow, M y. Muchlow, R. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yield potential. *Plant Soil* 196: 201-210.
- Mejía, S; Menjivar, J. 2010. Nutrición mineral del arroz; Nitrógeno, funciones importantes. In: Degiovanni, B; Martínez, R; Motta, O. eds. *Producción eco-eficiente del arroz en América latina*. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 306-335.
- MINAG-DGCA (Ministerio de Agricultura y Riegos – Dirección General de Competividad Agraria, PE). 2010. *Resumen ejecutivo Arroz*. Lima, Perú. 25p.
- MINAGRI-SIEA (Ministerio de Agricultura y Riegos – Sistema Integrado de Estadística Agraria, PE). 2014. *Anuario de producción agrícola 2014*. Lima, Perú. 312p.
- MINAG-DGCA (Ministerio de Agricultura y Riegos – Dirección General de Competividad Agraria, PE). 2013. *El Arroz. Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva*, 1 ed. Lima, Perú. 34p.
- Molina, E. 2003. *Características y manejo de fertilizantes que contienen Nitrogeno, Fosforo y Potasio*. Centro de Investigaciones Agronomicas. Universidad de Costa

Rica, San Jose: 37-57.

- Nasima, J; Khanif, MY; Hanfi, MM; Wan, WWZ, Dharejo, KA. 2011. African Journal of Biotechnology 10(18): 3504-3514.
- Osaki, M; Shinano, M; Matsumoto, J. Ushiki, MM; Shinano, M; Urayama; Tadano. 1995. Productivity of high-yielding crops. V. Root growth and specific absorption rate of nitrogen. Soil Science and Plant Nutrition 41: 635-647.
- Patil, MD; Das, E; Barak, PBS; Bhadoria; Polak,A. 2010. Performance of polymer-coated urea in transplanted rice: effect of mixing ratio and water input on nitrogen use efficiency. *Paddy Water Environ.*8: 189–198.
- Quirós, R; Ramírez, C. 2006. Evaluación de la fertilización nitrogenada en arroz inundado. *Agronomía mesoamericana* 17 (002): 179-188.
- Rugel, RI. 2016. Estudio de cinco niveles de silicato de calcio y tres de nitrógeno en el cultivo de arroz (*oryza sativa* L.) variedad iniap-15. Tesis.Ing. Agr. Guayaquil. EC. Universidad de Guayaquil. 48p.
- Said, FNB; Yusop, M.K; Oad, FCh. 2014. Nutrient uptake, pH changes and yield of rice under slow release sulfur-coated urea fertilizers. *Australian Journal of Crop Science.* 8(10): 1359-1366.
- Sánchez, PA; Calderón, MV. 1971. Timing of nitrogen application of rice grown under intermittent flooding in the Coast of Perú. *Int. Symposium Soil Fert. Evaluation Proc.* 1:595-602.
- Sánchez, PA; Ramírez, GE; Calderón, MV. 1970. Nitrogen responses to rice rice high solar radiation conditions in the North Coast of Peru. *Agronomy Abs.* 1970:127.

- Sánchez, L. 2003. Fertilización del Cultivo del Arroz en los Llanos Orientales. Arroz. Bogotá. CO. 42 (385): 24-32.
- Singh, H; Verna, A; Ansari, MW; Shukla, A. 2014. Physiological response of rice (*Oriza Sativs L.*) genotypes to elevated nitrogen applied indor field conditions. *lantignaling and Behavior*, 29015.
- Sta Cruz, PC; Wada, G. 1994. Genetic variation in nitrogen uptake by rice and the effects of management and soil fertility. In: *Rice roots, nutrient and water use*, Kirk GJD (Ed). International Rice Research Institute, Manila, Philippines, p 29-40.
- Slaton, NA; Golden, BR; Norman, RJ. 2009. Rice response to urea and two polymer-coated urea fertilizers. *AAES Res. Ser.* 581, 211–219.
- Soca, M; Constanza, M. 2015. La zeolita y su efecto en la eficiencia del nitrógeno en arroz y maíz. *Revista de Ciencias Agrícolas. Artículo de Investigación Ciencias del Suelo y Nutricion Vegetal* 32(2): 46-55.
- Taiwo, LB; Adediran, JA; Akando, MO, Banjoko, VA; Oluwatosin, GA. 2001. Influence of legume fallow on soil properties and yield of maize in South Western Nigeria. *J Agr Trop Subtrop.* 102:109-117.
- Tang, S; Yang, S; Chen, J; Xu, P; Zhang, F ; Ai, S y Huang, X. 2007. *Agricultural Science in China* 6(5): 586-596.
- Tola, N.A. 2015. Comportamiento agronómico de dos variedades de arroz (*Oryza sativa L.*) sometidas a dos fuentes de fertilizantes nitrogenadas solas y combinadas con leonardita. Tesis. Ing. Agr. Guayaquil. EC. Universidad de Guayaquil. 74.
- Valdiviezo, E; Sanchez, L; Sergio, V y Macías, H. 2012. Eficiencia agronómica y de recuperación de fertilizantes nitrogenados, solos y combinados con leonardita en el

cultivo de arroz. Revista de divulgación de la dirección de investigación y proyectos académicos. Universidad de Guayaquil. 4 (4): 55-65.

- Wahl, MR; Kirsch, U; Brockel, ST; Bottlinger, M. 2006. Caking of urea prills. Chem. Eng. Technol. 29: 674–678.
- Wang, XZ; Zhu, JG; Gao, R; Yasucasu, H; Feng, K. 2007. Nitrogen cycling and losses under rice-wheat rotation with coated urea and urea in the Taihu lake region. Pedosphere. 17: 62-69.
- Watson, CJ. 2000. Urease activity and inhibition - principles and practice. In: Int. Fert. Soc. Proc. 454.
- Zaman, M; Nguyen, L; Blennerhassett, JD; Quin, BF. 2005. Increasing the utilisation of urea fertilisers by pasture. In "Developments in Fertiliser Application Technologies and Nutrient Management" (L. D. Currie and J. A. Hanly, eds.), vol. 18, pp. 276-284, Fertiliser and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North.
- Zheng, SX; Nie, J; Xiong, JY; Xiao, J, Luo, ZZ; Yi, GY. 2001. Study on role of controlled release fertilizer in increasing the efficiency of nitrogen utilization and rice yield. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 7, 11-15. (in Chinese).
- Xu, XK, Boeckx, P; Van, CO; Zhou, LK. 2002. Urease and nitrification inhibitors to reduce emissions of CH₄ and N₂O in rice production. Nutr. Cyc. Agroecosys. 64: 203-211.
- Xue, L; Yu, Y; Yang, L. 2014. Maintaining yields and reducing nitrogen loss in rice – wheat rotation system in Taihu Lake region with proper fertilizer management. Environmental Research Letters, Volume 9, number 11.

- Yang, X; Jing, J; He, P y Liang, M. 2008. Recent Advances on the Technologies to Increase Fertilizer Use Efficiency. *Agricultural Sciences in China* 7(4): 469-479.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of rice crop science*. Loa Baños, Philipines:International Rice Research Institute. Loa Baños, Philipines: International Rice Research Institute.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para rendimiento (kg/parcela) obtenido en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	2	2.25	1.12	0.67	0.52	NS
Fuentes (F)	2	0.79	0.39	0.23	0.79	NS
Error de (F)	4	7.85	1.96	1.17		
Niveles (N)	3	278.30	92.77	55.26	<.0001	**
F*N	6	0.75	0.13	0.07	1.00	NS
Error de (N)	18	30.22	1.68			
Total	35	320.15				
CV (%) (F)	12.27	CV (%) (N)	11.36			
Promedio	11.41					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	11.57	A	N3	13.59	A
F2	11.46	A	N4	13.52	A
F1	11.21	A	N2	11.78	B
			N1	6.76	C

Anexo 2: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para materia seca (g m⁻²) obtenido en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	12597.75	12597.75	117.87	<.0001	**
Fuentes (F)	2	68160.97	34080.49	318.88	<.0001	**
Error de (F)	2	186.67	93.33	0.87		
Niveles (N)	3	57019.70	19006.57	177.84	<.0001	**
F*N	6	80337.42	13389.57	125.28	<.0001	**
Error de (N)	9	961.87	106.87			
Total	23	219264.38				
CV (%) (F)	4.38	CV (%) (N)	4.69			
Promedio	220.55					

Continuación...

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	295.47	A	N2	299.23	A
F1	190.18	B	N4	223.00	B
F2	176.00	B	N1	182.68	C
			N3	177.27	C

Anexo 3: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para materia seca (g m⁻²) al inicio del primordio floral obtenido en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	39684.16	39684.16	121.55	<.0001	**
Fuentes (F)	2	7773.68	3886.84	11.90	0.003	**
Error de (F)	2	226.54	113.27	0.35		
Niveles (N)	3	37029.66	12343.22	37.81	<.0001	**
F*N	6	88715.51	14785.92	45.29	<.0001	**
Error de (N)	9	2938.47	326.50			
Total	23	176368.02				
CV (%) (F)	2.76	CV (%) (N)	4.69			
Promedio	385.00					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	410.35	A	N4	426.72	A
F2	374.33	B	N3	410.64	A
F1	370.33	B	N2	378.77	B
			N1	323.89	C

Anexo 4: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para materia seca (g m⁻²) a la cosecha en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	8603.31	8603.31	0.85	0.380	NS
Fuentes (F)	2	164064.69	82032.35	8.12	0.010	*
Error de (F)	2	309630.45	154815.23	15.32		
Niveles (N)	3	4198907.89	1399635.96	138.46	<.0001	**
F*N	6	375710.19	62618.36	6.19	0.008	**
Error de (N)	9	90975.52	10108.39			
Total	23	5147892.05				
CV (%) (F)	26.37	CV (%) (N)	6.74			
Promedio	1492.07					

Continuación...

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F2	1558.30	A	N4	1982.00	A
F3	1542.40	A	N3	1747.87	B
F1	1375.50	A	N2	1360.33	C
			N1	878.07	D

Anexo 5: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para altura de planta (cm) a la cosecha en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.002	0.002	0.000	0.983	N.S
Fuentes (F)	2	16.998	8.499	1.780	0.223	N.S
Error de (F)	2	34.243	17.122			
Niveles (N)	3	261.297	87.099	18.250	0.000	**
F*N	6	16.079	2.680	0.560	0.752	N.S
Error de (N)	9	42.947	4.772			
Total	23	371.566				
CV (%) (F)	4.83	CV (%) (N)	2.54			
Promedio	85.84					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F1	87.00	A	N4	88.50	A
F2	85.46	A	N3	88.17	A
F3	85.05	A	N2	86.38	A
			N1	80.30	B

Anexo 6: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para Longitud de panícula (cm) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloques	1	2.030	2.030	6.530	0.031	*
Fuentes (F)	2	0.917	0.459	1.480	0.279	N.S
Error de (F)	2	1.357	0.678			
Niveles (N)	3	6.797	2.266	7.290	0.009	**
F*N	6	1.080	0.180	0.580	0.740	N.S
Error de (N)	9	2.797	0.311			
Total	23	14.978				
CV (%) (F)	3.49	CV (%) (N)	2.36			
Promedio	23.59					

Continuación...

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	23.81	A	N4	24.16	A
F1	23.62	A	N3	24.07	A
F2	23.33	A	N2	23.18	B
			N1	22.95	B

Anexo 7: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para número de panícula por m² en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	27337.50	27337.50	34.77	0.0002	**
Fuentes (F)	2	6050.33	3025.17	3.85	0.06	NS
Error de (F)	2	5677.00	2838.50	3.61		
Niveles (N)	3	91712.50	30570.83	38.89	<.0001	**
F*N	6	8959.00	1493.17	1.90	0.19	NS
Error de (N)	9	7075.50	786.17			
Total	23	146811.83				
CV (%) (F)	16.96	CV (%) (N)	8.93			
Promedio	314.08					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	336.50	A	N4	388.67	A
F2	304.00	A	N3	338.67	B
F1	301.75	A	N2	310.33	B
			N1	218.67	C

Anexo 8: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para número de granos llenos por panícula en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.667	0.667	0.070	0.7938	NS
Fuentes (F)	2	196.583	98.292	10.690	0.0042	**
Error de (F)	2	40.583	20.292	2.210		
Niveles (N)	3	656.167	218.722	23.790	0.0001	**
F*N	6	17.083	2.847	0.310	0.9164	NS
Error de (N)	9	82.750	9.194			
Total	23	993.83				
CV (%) (F)	3.36	CV (%) (N)	2.26			
Promedio	134.08					

Continuación...

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	137.13	A	N3	140.17	A
F2	134.88	A	N4	136.67	AB
F1	130.25	A	N2	133.50	B
			N1	126.00	C

Anexo 9: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para peso de mil granos (g) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	1.815	1.815	2.930	0.121	NS
Fuentes (F)	2	2.635	1.317	2.120	0.18	NS
Error de (F)	2	1.846	0.923	1.490		
Niveles (N)	3	1.869	0.623	1.000	0.43	NS
F*N	6	3.554	0.592	0.960	0.50	NS
Error de (N)	9	5.583	0.620			
Total	23	17.30				
CV (%) (F)	3.70	CV (%) (N)	3.03			
Promedio	25.98					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F1	25.98	A	N3	26.44	A
F3	26.17	A	N4	25.93	A
F2	25.52	A	N2	25.88	B
			N1	25.68	B

Anexo 10: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para longitud de grano (mm) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.017	0.017	0.640	0.445	N.S
Fuentes (F)	2	0.101	0.050	1.890	0.21	N.S
Error de (F)	2	0.039	0.020			
Niveles (N)	3	0.014	0.005	0.180	0.91	N.S
F*N	6	0.173	0.029	1.080	0.44	N.S
Error de (N)	9	0.240	0.027			
Total	23	0.58				
CV (%) (F)	1.43	CV (%) (N)	1.66			
Promedio	9.89					

Continuación...

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F1	9.98	A	N2	9.92	A
F3	9.87	A	N3	9.90	A
F2	9.82	A	N1	9.88	A
			N4	9.85	A

Anexo 11: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para ancho de grano (mm) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.013	0.013	2.370	0.158	N.S
Fuentes (F)	2	0.002	0.001	0.200	0.818	N.S
Error de (F)	2	0.000	0.000			
Niveles (N)	3	0.026	0.009	1.570	0.263	N.S
F*N	6	0.012	0.002	0.350	0.891	N.S
Error de (N)	9	0.050	0.006			
Total	23	0.103				
CV (%) (F)	0.22	CV (%) (N)	3.03			
Promedio	2.45					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F1	2.46	A	N2	2.48	A
F3	2.45	A	N3	2.46	A
F2	2.43	A	N1	2.46	A
			N4	2.39	A

Anexo 12: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para espesor de grano (mm) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.008	0.008	2.470	0.151	N.S
Fuentes (F)	2	0.002	0.001	0.250	0.784	N.S
Error de (F)	2	0.002	0.001			
Niveles (N)	3	0.001	0.000	0.120	0.949	N.S
F*N	6	0.018	0.003	0.920	0.522	N.S
Error de (N)	9	0.029	0.003			
Total	23	0.061				
CV (%) (F)	1.68	CV (%) (N)	2.91			
Promedio	1.88					

Continuación...

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F1	1.89	A	N4	1.89	A
F3	1.89	A	N2	1.89	A
F2	1.87	A	N1	1.88	A
			N3	1.87	A

Anexo 13: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para índice de cosecha (%) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.103	0.103	1.790	0.214	NS
Fuentes (F)	2	4.222	2.111	36.700	<.0001	**
Error de (F)	2	0.034	0.017	0.300		
Niveles (N)	3	15.785	5.262	91.490	<.0001	**
FN	6	2.061	0.343	5.970	0.01	*
Error de (N)	9	0.518	0.058			
Total	23	22.72				
CV (%) (F)	0.27	CV (%) (N)	0.49			
Promedio	49.05					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	49.53	A	N4	49.91	A
F2	49.10	B	N3	49.68	A
F1	48.51	C	N2	48.72	B
			N1	47.87	C

Anexo 14: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para acumulación de nitrógeno (kg ha⁻¹) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	914.39	914.39	13.39	0.0052	**
Fuentes (F)	2	3935.17	1967.59	28.82	0.0001	**
Error de (F)	2	1200.49	600.25	8.79		
Niveles (N)	3	61334.19	20444.73	299.47	<.0001	**
FN	6	783.40	130.57	1.91	0.1834	NS
Error de (N)	9	614.43	68.27			
Total	23	68782.07				
CV (%) (F)	15.28	CV (%) (N)	5.15			
Promedio	160.34					

Continuación...

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F2	173.27	A	N4	219.64	A
F3	164.85	A	N3	192.73	B
F1	142.90	A	N2	141.45	C
			N1	87.54	D

Anexo 15: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para rendimiento de molinería (%) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	1.927	1.927	0.410	0.538	NS
Continuación...						
Fuentes (F)	2	0.053	0.026	0.010	0.99	NS
Continuación...						
Error de (F)	2	1.341	0.670	0.140		
Niveles (N)	3	22.390	7.463	1.590	0.26	NS
FN	6	20.728	3.455	0.730	0.63	NS
Error de (N)	9	42.303	4.700			
Total	23	88.74				
CV (%) (F)	1.18	CV (%) (N)	3.14			
Promedio	69.15					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F2	69.21	A	N4	70.12	A
F1	69.14	A	N2	70.05	A
F3	69.10	A	N3	68.57	A
			N1	67.87	A

Anexo 16: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para porcentaje de granos enteros en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	1.40	1.40	0.26	0.62	N.S
Fuentes (F)	2	4.12	2.06	0.38	0.70	N.S
Error de (F)	2	5.61	2.81			
Niveles (N)	3	32.01	10.67	1.96	0.19	N.S
FN	6	29.08	4.85	0.89	0.54	N.S
Error de (N)	9	49.02	5.45			
Total	23	121.24				

Continuación...

CV (%) (F)	2.75	CV (%) (N)	3.83
Promedio	60.90		

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	61.45	A	N2	62.07	A
F2	60.80	A	N4	61.60	A
F1	60.45	A	N3	60.90	A
			N1	59.03	A

Anexo 17: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para porcentaje de granos quebrados en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.01	0.01	0.00	0.95	N.S
Fuentes (F)	2	4.56	2.28	0.93	0.43	N.S
Error de (F)	2	3.00	1.50			
Niveles (N)	3	3.82	1.27	0.52	0.68	N.S
FN	6	4.09	0.68	0.28	0.93	N.S
Error de (N)	9	21.97	2.44			
Total	23	37.45				
CV (%) (F)	14.88	CV (%) (N)	18.98			
Promedio	8.23					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F1	8.68	A	N1	8.78	A
F2	8.38	A	N4	8.35	A
F3	7.64	A	N2	8.10	A
			N3	7.68	A

Anexo 18: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para índice de traslucencia en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.0002	0.0002	0.5900	0.4620	N.S
Fuentes (F)	2	0.0003	0.0002	0.4300	0.6609	N.S
Continuación...						
Error de (F)	2	0.0002	0.0001			
Niveles (N)	3	0.0071	0.0024	6.8200	0.0108	*

Continuación...

FN	6	0.0012	0.0002	0.5900	0.7290	N.S
Error de (N)	9	0.0031	0.0003			
Total	23	0.0122				
CV (%) (F)	16.67	CV (%) (N)	28.87			
Promedio	0.06					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F1	0.07	A	N4	0.08	A
F2	0.06	A	N3	0.07	A
F3	0.06	A	N2	0.06	A
			N1	0.04	A

Anexo 19: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para proteína (%) en arroz pilado para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.71	0.71	7.40	0.02	*
Fuentes (F)	2	0.69	0.35	3.61	0.07	NS
Error de (F)	2	0.77	0.39	4.01		
Niveles (N)	3	36.43	12.14	126.42	<.0001	**
FN	6	1.44	0.24	2.49	0.11	NS
Error de (N)	9	0.86	0.10			
Total	23	40.90				
CV (%) (F)	6.23	CV (%) (N)	3.16			
Promedio	10.02					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	10.25	A	N4	11.50	A
F2	9.85	A	N2	9.64	C
			N1	8.22	D

Anexo 20: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para Eficiencia Agronómica (kg arroz producido/kg N aplicado) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	91.40	91.40	2.94	0.14	NS
Fuentes (F)	2	1.54	0.77	0.02	0.98	NS
Error de (F)	2	78.37	39.18	1.26		
Niveles (N)	2	858.41	429.20	13.82	0.01	**

Continuación...

FN	4	35.59	8.90	0.29	0.88	NS
Error de (N)	6	186.38	31.06			
Total	17	1251.68				
CV (%) (F)	29.19	CV (%) (N)	25.84			
Promedio	21.57					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F2	21.88	A	N2	30.81	A
F1	21.67	A	N3	19.71	B
F3	21.18	A	N4	14.21	B

Anexo 21: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para Eficiencia Fisiológica (kg arroz producido/kg N absorbido) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	499.60	499.60	2.26	0.18	NS
Fuentes (F)	2	95.19	47.59	0.22	0.81	NS
Error de (F)	2	354.40	177.20	0.80		
Niveles (N)	2	4259.87	2129.94	9.63	0.01	*
FN	4	746.00	186.50	0.84	0.55	NS
Total	17	7282.55				
CV (%) (F)	26.63	CV (%) (N)	29.77			
Promedio	49.97					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F1	52.90	A	N2	71.45	A
F2	49.71	A	N3	42.17	B
F3	47.29	A	N4	36.28	B

Anexo 22: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para Eficiencia de Uso de Nitrógeno (%) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	358.23	358.23	28.36	0.002	**
Fuentes (F)	2	687.55	343.77	27.21	0.001	**
Error de (F)	2	118.78	59.39	4.70		
Niveles (N)	2	462.27	231.14	18.30	0.003	**
FN	4	45.79	11.45	0.91	0.516	NS
Error de (N)	6	75.79	12.63			

Continuación...

Total	17	1748.42		
CV (%) (F)	16.22	CV (%) (N)	7.48	
Promedio	47.51			

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F2	55.61	A	N2	52.41	A
F3	46.31	A	N3	49.58	A
F1	40.61	A	N4	40.53	B

Anexo 23: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para índice de expansión del grano cocido (%) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016⁽¹⁾

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.002	0.002	5.030	0.052	NS
Fuentes (F)	2	27.120	13.560	37122.200	<.0001	**
Error de (F)	2	0.001	0.000	0.860		
Niveles (N)	3	82.085	27.362	74906.900	<.0001	**
FN	6	45.815	7.636	20904.200	<.0001	**
Error de (N)	9	0.003	0.000			
Total	23	155.026				
CV (%) (F)	0.07	CV (%) (N)	0.07			
Promedio	25.29					

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F2	26.58	A	N1	27.42	A
F3	25.30	B	N3	26.28	B
F1	23.98	C	N4	25.00	C
			N2	22.45	D

Anexo 24: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para volumen de agua a la cocción (ml) en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	240.67	240.67	0.46	0.51	NS
Fuentes (F)	2	1083.00	541.50	1.04	0.39	NS
Error de (F)	2	842.33	421.17	0.81		
Niveles (N)	3	481.33	160.44	0.31	0.82	NS
FN	6	1323.67	220.61	0.42	0.85	NS
Error de (N)	9	4693.00	521.44			

Continuación...

Total	23	8664.00			
CV (%) (F)	12.14	CV (%) (N)	13.51		
Promedio	169.00				

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	178.50	A	N3	175.33	A
F2	164.25	A	N2	169.00	A
F1	164.25	A	N1	169.00	A
			N4	162.67	A

Anexo 25: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para tiempo de cocción (min.) para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.17	0.17	0.33	0.58	NS
Fuentes (F)	2	7.00	3.50	7.00	0.01	*
Error de (F)	2	1.33	0.67	1.33		
Niveles (N)	3	116.00	38.67	77.33	<.0001	**
FN	6	101.00	16.83	33.67	<.0001	**
Error de (N)	9	4.50	0.50			
Total	23	230.00				

CV (%) (F)	3.48	CV (%) (N)	3.00		
Promedio	23.50				

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F2	24.00	A	N3	27.16	A
F1	23.75	A	N2	23.16	B
F3	22.75	A	N1	22.16	C
			N4	21.50	C

Anexo 26: Análisis de variancia y prueba de Duncan (0.05) para grado de dispersión alcalina en fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF 2016-I.

F.V.	GL	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	1	0.00	0.00	0.00	1.00	NS
Fuentes (F)	2	2.33	1.17	3.50	0.08	NS
Error de (F)	2	1.00	0.50	1.50		
Niveles (N)	3	19.17	6.39	19.17	0.0003	**
FN	6	32.33	5.39	16.17	0.0002	**

Continuación...

Error de (N)	9	3.00	0.33
Total	23	57.83	
CV (%) (F)	19.75	CV (%) (N)	16.05
Promedio	3.58		

Fuentes	Promedio	Significación	Niveles	Promedio	Significación
F3	4.00	A	N2	4.50	A
F1	3.50	A	N4	4.16	AB
F2	3.25	A	N1	3.50	B
			N3	2.16	C

Anexo 27: Resumen promedio de todas las variables evaluadas por fuentes y niveles de nitrógeno y su respectiva desviación estándar.

EEVF 2016-I

F. de V.	Rendimiento (t ha ⁻¹)		M.S. M.M. (t ha ⁻¹)		M.S.IPF (t ha ⁻¹)		M.S. COS. (t ha ⁻¹)		N° Panículas m ²		Índice de Cosecha (%)	
Fuentes de N												
U.C	7.48	±0.93	1.90	±0.097	3.70	±0.106	13.76	±3.93	302	±53.28	48.51	±0.13
I.U	7.64	±0.93	1.76	±0.097	3.74	±0.106	15.58	±3.93	304	±53.28	49.10	±0.13
I.N	7.71	±0.93	2.95	±0.097	4.10	±0.106	15.42	±3.93	337	±53.28	49.53	±0.13
C.V (%)	12.27		4.38		2.76		26.37		16.96		0.27	
Niveles de N												
0	4.51	±0.87	1.83	±0.103	3.24	±0.18	8.78	±1.01	219	±28.04	48.72	±0.24
120	7.86	±0.87	2.99	±0.103	3.79	±0.18	13.60	±1.01	310	±28.04	49.91	±0.24
240	9.06	±0.87	1.77	±0.103	4.11	±0.18	17.48	±1.01	339	±28.04	49.68	±0.24
360	9.01	±0.87	2.23	±0.103	4.27	±0.18	19.82	±1.01	389	±28.04	47.87	±0.24
C.V (%)	11.36		4.69		4.69		6.74		8.93		0.49	
Variables morfológicas y de acumulación de N												
Altura de Planta (cm)	Longitud de Panícula (cm)		N° Granos/Panícula.		N° Granos Llenos/Panícula.		Peso de 1000 granos.		Acumulación de N (kg ha ⁻¹)			
87.00 ±4.14	23.62	±0.82	140	±3.78	130	±4.50	25.98	±0.96	142.90	±24.5		
85.46 ±4.14	23.33	±0.82	144	±3.78	135	±4.50	25.52	±0.96	173.27	±24.5		
85.05 ±4.14	23.81	±0.82	148	±3.78	137	±4.50	26.17	±0.96	164.85	±24.5		
4.83	3.49		3.49		3.36		3.70		15.28			

Continuación...

80.30 ±2.18	22.95 ±0.56	134 ±2.04	126 ±3.03	26.44 ±0.79	87.54 ±8.26
86.38 ±2.18	23.18 ±0.56	142 ±2.04	134 ±3.03	25.93 ±0.79	141.45 ±8.26
88.17 ±2.18	24.07 ±0.56	148 ±2.04	140 ±3.03	25.88 ±0.79	192.73 ±8.26
88.50 ±2.18	24.16 ±0.56	152 ±2.04	137 ±3.03	25.68 ±0.79	219.64 ±8.26
2.54	2.36	2.63	2.26	3.03	5.15

F. de V.	Rendimiento Molinería (%)		% Granos Enteros		% Granos Quebrados		Índice de Traslucencia		Longitud de Grano (mm)		Ancho de Grano (mm)	
Fuentes de N												
U.C	69.14	±0.82	60.45	±1.68	8.68	±1.22	0.07	±0.01	9.98	±0.14	2.46	±0.005
I.U	69.21	±0.82	60.80	±1.68	8.38	±1.22	0.06	±0.01	9.82	±0.14	2.43	±0.005
I.N	69.10	±0.82	61.45	±1.68	7.64	±1.22	0.06	±0.01	9.87	±0.14	2.45	±0.005
C.V (%)	1.18		2.75		14.88		16.67		1.43		0.22	
Niveles de N												
0	67.87	±2.17	59.03	±2.33	8.78	±1.56	0.04	±0.017	9.88	±0.16	2.46	±0.074
120	70.05	±2.17	62.07	±2.33	8.10	±1.56	0.06	±0.017	9.92	±0.16	2.48	±0.074
240	68.57	±2.17	60.90	±2.33	7.68	±1.56	0.07	±0.017	9.90	±0.16	2.39	±0.074
360	70.12	±2.17	61.60	±2.33	8.35	±1.56	0.08	±0.017	9.85	±0.16	2.46	±0.074
C.V (%)	3.14		3.83		18.98		28.87		1.66		3.03	

Continuación...

Espesor de Grano (mm)		Índice de Expansión (%)		Volumen de Agua (ml)		Tiempo de Cocción (min)		Grado de Dispersión Alcalina		% Proteína en grano Pilado	
1.89	±0.031	23.98	±0.017	164	±20.52	23.75	±0.82	3.50	±0.71	9.97	±0.62
1.87	±0.031	26.58	±0.017	164	±20.52	24.00	±0.82	3.25	±0.71	9.85	±0.62
1.89	±0.031	25.30	±0.017	179	±20.52	22.75	±0.82	4.00	±0.71	10.25	±0.62
1.68		0.07		12.14		3.48		9.75		6.23	
1.88	±0.054	27.42	±0.02	169	±22.84	23.16	±0.71	3.50	±0.57	8.22	±0.32
1.89	±0.054	22.45	±0.02	169	±22.84	21.50	±0.71	4.50	±0.57	9.64	±0.32
1.87	±0.054	26.28	±0.02	175	±22.84	27.16	±0.71	2.16	±0.57	10.73	±0.32
1.89	±0.054	25.00	±0.02	163	±22.84	22.16	±0.71	4.16	±0.57	11.50	±0.32
2.91		0.07		13.51		3.00		16.05		3.16	
F. de V.	E.A.(kg arroz producido kg N ⁻¹ aplicado)		E.F. (Kg arroz producido kg N ⁻¹ absorbido)		E.U.N (%)		Productividad Parcial				
Fuentes de N											
U.C	21.67	±6.23	52.01	±9.43	41.35	±7.45	41.63	±4.02			
I.U	21.88	±6.23	49.40	±9.43	56.01	±7.45	44.80	±4.02			
I.N	21.18	±6.23	45.02	±9.43	46.39	±7.45	43.93	±4.02			
C.V (%)	29.19		19.33		15.54		9.25				

Continuación...

Niveles de N								
120	30.81	±5.57	69.36	±14.96	53.74	±3.56	66.61	±4.07
240	19.71	±5.57	40.95	±14.96	49.47	±3.56	37.61	±4.07
360	14.21	±5.57	36.12	±14.96	40.54	±3.56	26.14	±4.07
C.V (%)	25.84		30.66		7.44		9.37	

F. de V. = Fuente de Variación, C. V = Coeficiente de variabilidad, M.S = Materia seca, M.M = Máximo macollamiento, COS = Cosecha, U.C =Urea común, I.U = Inhibidor de la ureasa, I.N = Inhibidor de la nitrificación.

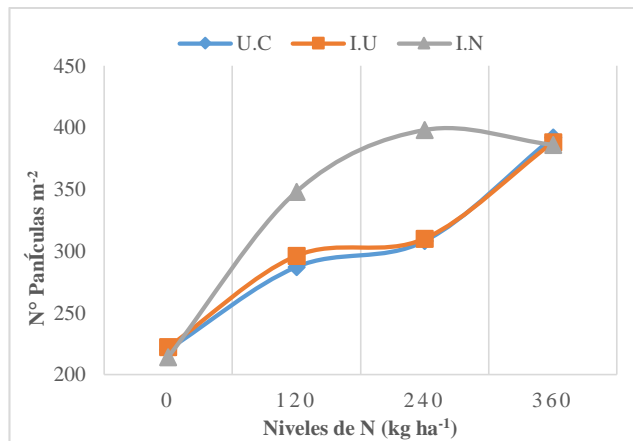


Figura 19. Número de panículas m⁻² para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

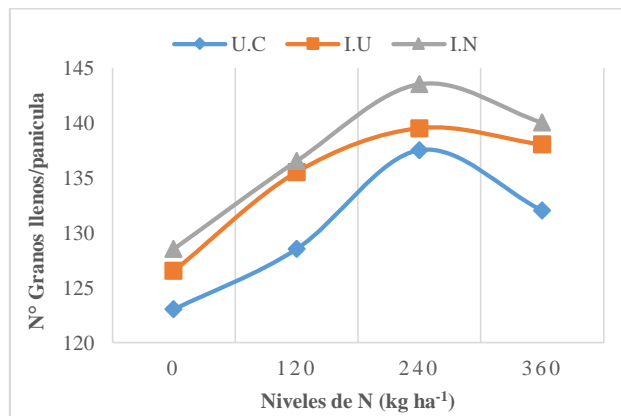


Figura 20. Número de granos llenos por panículas para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

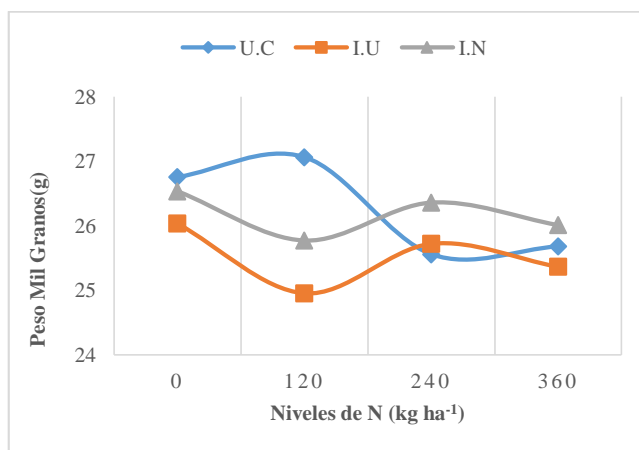


Figura 21. Peso de mil granos para fuentes y niveles de nitrógeno. EEVF, 2016-I

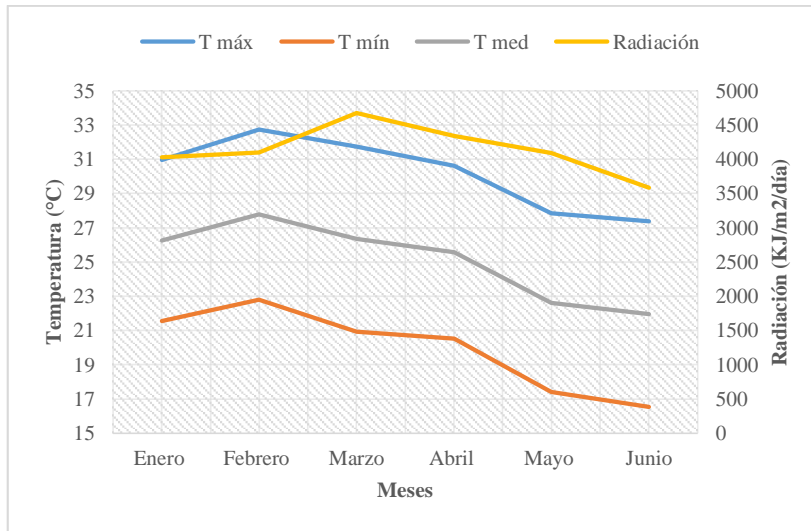


Figura 22. Temperatura y Radiación durante la conducción del experimento. EEVF, 2016-I



Figura 23. Construcción de bordos



Figura 24. Trasplante a campo definitivo



Figura 25. Voleo del herbicida granular Saturno (Bentocarb)



Inmediatamente después del trasplante.



Figura 26. Control sanitario



Figura 27. Voleo de fertilizante urea



Figura 28. Muestras para materia seca



Figura 30. Molino de prueba



Figura 29. Arroz en etapa de maduración

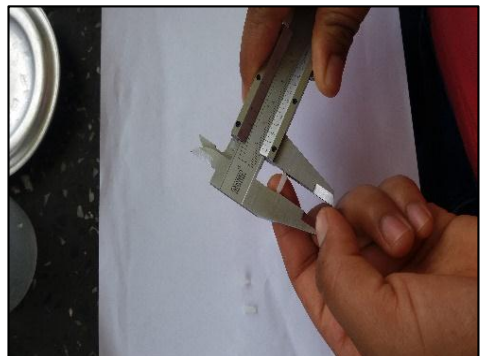


Figura 31. Vernier para medir granos



Figura 32. Calidad culinaria



Figura 33. Dispersión alcalina