

INFORMACIONES AGRONOMICAS

MANEJO DEL NITROGENO EN ARROZ

Achim Dobermann y Thomas Fairhurst*

Función y movilidad del nitrógeno (N)

El N es un constituyente esencial en los amino ácidos, ácidos nucleicos y de la clorofila. Promueve el rápido crecimiento (incremento en el tamaño de la planta y número de macollos) y aumenta el tamaño de las hojas, el número de espiguillas por panoja, el porcentaje de espiguillas llenas y el contenido de proteínas en el grano. En consecuencia, el N afecta todos los parámetros que contribuyen al rendimiento. La concentración de N en las hojas está estrechamente relacionada con la tasa de fotosíntesis en las hojas y la producción de biomasa del cultivo. Cuando se aplica suficiente N se incrementa la demanda de otros macronutrientes como P y K por el cultivo.

Las principales formas de N absorbido por la planta son: amonio (NH_4) y nitrato (NO_3). La mayoría del NH_4 absorbido se incorpora a los compuestos orgánicos en las raíces, mientras que el NO_3 es más móvil en el xilema y también se almacena en las vacuolas de diferentes partes de la

planta. El NO_3 también puede contribuir a mantener el balance entre aniones y cationes, y la osmoregulación. Para cumplir sus funciones esenciales como nutriente de la planta, el NO_3 debe reducirse a NH_4 por la acción de la nitrato y nitrito reductasa. El N es requerido durante todo el periodo de crecimiento, pero la mayor necesidad se presenta entre el inicio y mediados del macollamiento, y al inicio de la panoja. Un suplemento adecuado de N es necesario durante la maduración del grano para retrasar la senescencia de las hojas, mantener la fotosíntesis durante el llenado de grano e incrementar el contenido de proteína en el grano. El N es móvil dentro de la planta porque se transloca de las hojas viejas a las hojas jóvenes y los síntomas de deficiencia tienden a ocurrir primero en las hojas bajas. Rangos óptimos y niveles críticos se observa en la **Tabla 1**.

Contenido de N en el suelo

La determinación del suplemento de N nativo del suelo basada en el cultivo entrega la estimación más confiable de

Tabla 1. Rangos óptimos y niveles críticos de N en los tejidos de la planta.

Etapa de crecimiento	Parte de la planta	Optimo (%)	Nivel crítico para la deficiencia (%)
Macollamiento a inicio de la panoja	Hoja Y	2.9-4.2	<2.5
Floración	Hoja bandera	2.2-3.0	<2.0
Madurez	Paja	0.6-0.8	

* Tomado de: Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management. Potash and Phosphate Institute and International Rice Research Institute.

Julio 2005 • N° 58

CONTENIDO

Pág.

Manejo del Nitrógeno en Arroz ... 1

Manejo del Azufre en Arroz 7

Tabla de Comparación de Colores para el Manejo Efectivo del Nitrógeno en Arroz 10

Nuevas Publicaciones 13

Reporte de Investigación Reciente 14

- Análisis comparativo de fuentes de calcio en Melón Galia en invernadero

- Corrección de la deficiencia de hierro en maíz con la aplicación de sulfato de hierro al surco de siembra

- La calidad de la Sandía en función de fuentes y dosis de potasio

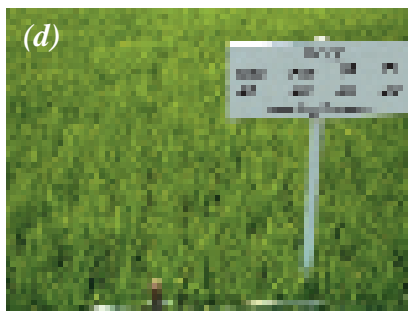
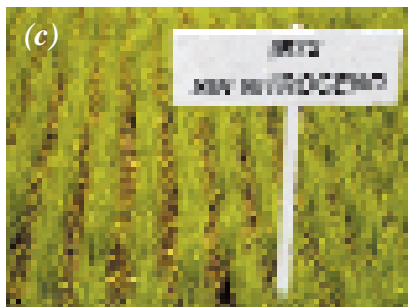
Cursos y Simposios 15

Publicaciones de INPOFOS 16

Editor: Dr. José Espinosa

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor.

INVESTIGACION
INPOFOS
EDUCACION
INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA



Síntomas de deficiencia de N en arroz

- (a) Hojas con coloración verde amarillenta en las parcelas de omisión en donde no se aplicó N.
- (b) Las hojas son más pequeñas en plantas con deficiencia de N.
- (c) El macollamiento se reduce cuando el N es deficiente.
- (d) El macollamiento se incrementa cuando se aplica N.

este parámetro en sistemas intensivos de arroz. En sistemas de arroz irrigado de zonas bajas, la mayoría de los análisis de suelos comúnmente utilizados no son confiables para predecir el N del suelo en condiciones de campo, y por lo tanto no se pueden proponer niveles o rangos críticos confiables. El contenido de C orgánico y el contenido de N total en el suelo tampoco son indicadores confiables del suplemento de N del suelo de sistemas de arroz irrigado, pero son más útiles en sistemas de arroz de secano en zonas altas.

El suplemento de N del suelo puede medirse incubando el suelo en condiciones anaeróbicas (2 semanas a 30°C) y el resultado se puede usar para predecir el suplemento de N del suelo y, por lo tanto, los requerimientos del cultivo. Este método debe utilizarse con precaución ya

que puede subestimar la verdadera capacidad de suplemento de N del suelo, ya que no existe una calibración de campo adecuada. Este procedimiento tampoco es práctico como parte del análisis de suelo de rutina.

Causas de la deficiencia de N

La deficiencia de N puede deberse a uno o más de las siguientes condiciones:

- Baja capacidad de suplemento de N del suelo.
- Insuficiente aplicación de fertilizantes nitrogenados minerales.
- Baja eficiencia de utilización de N (pérdidas por volatilización, denitrificación, lixiviación, escorrentía, e incorrecto fraccionamiento y colocación).
- Condiciones de permanente inundación que reducen el suplemento de N nativo del suelo (sistemas de cultivo triple).
- Pérdidas de N debido a lluvias intensas (lixiviación y percolación).
- Secamiento temporal del suelo durante el periodo de crecimiento.
- Deficiente fijación biológica de N_2 por severa deficiencia de P.

Incidenca de la deficiencia de N

La deficiencia de N es común en todos los suelos donde se cultivan las variedades modernas de arroz sin suficiente fertilizante nitrogenado. Se obtienen significativas respuestas a la aplicación de formas minerales y/u orgánicas de N en casi todos los suelos de arroz de zonas bajas, donde no existen otros factores limitantes como riego, otros nutrientes, plagas y enfermedades. La deficiencia de N puede también ocurrir en sitios donde se han aplicado altas cantidades de fertilizantes nitrogenados en forma y épocas equivocadas.

Los suelos particularmente susceptibles a la deficiencia de N son los siguientes:

- Suelos con muy bajo contenido de materia orgánica (<0.5% de C orgánico, suelos ácidos de textura gruesa).
- Suelos con restricciones particulares de suplemento de N nativo del suelo (suelos sulfato ácidos, salinos, con deficiencia de P, ó suelos con drenaje deficiente donde la mineralización de N o la fijación biológica de N_2 es pequeña).
- Suelos alcalinos y calcáreos con bajo contenido de materia orgánica y un alto potencial de pérdidas por volatilización de NH_3 .

Efectos de la inundación en la disponibilidad y absorción de N

La disponibilidad de N es mayor en suelos inundados que en suelos aireados, pero varias características, únicas de los suelos inundados, complican el manejo de N. Después de la inundación, el O_2 del suelo es rápidamente consumido por los microorganismos, debido a que la tasa de difusión del O_2 es 10 000 veces más lenta en los poros del suelo llenos de agua que en los poros llenos de aire. Como resultado, el potencial redox del suelo, un indicador de la reducción del suelo, decrece rápidamente en un periodo de 3-5 semanas después de la inundación a un nuevo estado de equilibrio. La tasa de decrecimiento está determinada por la cantidad de materia orgánica que puede descomponerse y por la disponibilidad de O_2 , NO_3^- , óxidos e hidróxidos de Mn, óxidos e hidróxidos de Fe y SO_4^{2-} , que se utilizan como receptores de electrones en la descomposición microbiana.

Pocos días después de la inundación, el NO_3^- se reduce y se pierde como N_2 y N_2O , mientras que el NH_4^+ tiende a acumularse como resultado de la mineralización de N. Pocas semanas después de la inundación, se desarrollan cuatro zonas que contribuyen al suplemento de N:

- Una capa de agua de inundación de profundidad variable (1-15 cm) con una flora viviente que consiste en bacterias y algas que contribuyen a la fijación biológica de N_2 .
- Una capa oxidada, muy delgada (0.1-1 cm) que se localiza inmediatamente por debajo de la capa de agua de inundación.
- Una capa gruesa de suelo reducido (10-20 cm) que se

encuentra entre la capa oxidada y la capa hasta donde llega la remoción del suelo con la labranza.

- Una delgada capa oxidada en la rizosfera (0.1-0.5 cm) de las raíces que crecen en el suelo reducido. Las plantas saludables de arroz mantienen condiciones oxidadas en la rizosfera al excretar O_2 transportado desde la parte superior de la planta a las raíces por el aerénquima.

El NH_4^+ es nitrificado a NO_3^- en la delgada capa oxidada de suelo y en la rizosfera del arroz. Sin embargo, el NO_3^- es altamente móvil y puede lixiviarse o difundirse a la capa de suelo reducida donde se pierde rápidamente por desnitrificación (N_2 y N_2O gaseoso) y lixiviación (en suelos de textura gruesa). Por efecto de la mineralización de la materia orgánica y de los residuos del cultivo, el NH_4^+ soluble e intercambiable se acumula en la capa reducida del suelo durante las primeras etapas de crecimiento, cuando la demanda de N es pequeña. Después de la difusión hacia la capa aeróbica del suelo, el NH_4^+ puede nitrificarse y difundirse de vuelta a la capa de suelo reducido para desnitrificarse. A pesar de que el NH_4^+ es la forma predominante de N mineral en los suelos inundados, el arroz absorbe con igual eficiencia ambas formas de N (NH_4^+ y NO_3^-). Algo del NH_4^+ que se difunde desde el suelo y que llega a las raíces del arroz es probablemente oxidado a NO_3^- en la rizosfera del arroz y absorbido por las raíces en esta forma.

Las transformaciones de N son diferentes cuando el fertilizante nitrogenado es incorporado al suelo (aplicación basal de N) o cuando se aplica al voleo sobre el agua de inundación.

Si se incorporan fertilizantes portadores de NH_4^+ en la capa

reducida del suelo, antes o después de la inundación, el NH_4^+ se adsorbe en los coloides, lo inmovilizan temporalmente los microorganismos o se retiene abióticamente en los componentes de la materia orgánica como los compuestos fenólicos. Las pérdidas por percolación son generalmente pequeñas, con excepción de suelos con textura muy gruesa.

La urea aplicada al voleo es hidrolizada rápidamente (2-4 días) y es susceptible a pérdidas por la volatilización de NH_3 debido a los cambios diurnos en el pH del agua de inundación como resultado de la actividad biológica. Las pérdidas del N aplicado al voleo se relacionan con las características del agua de inundación (profundidad de la lámina, pH, temperatura y la concentración de NH_4^+) además de la velocidad del viento y la etapa de crecimiento de la planta. Después de la fase media de macollamiento, cuando ya se ha formado un sistema radicular denso con abundantes raíces superficiales, las tasas de absorción del N aplicado al voleo sobre la lámina pueden ser altas ($\leq 10 \text{ kg ha}^{-1}$ por día) y esto hace que las pérdidas por volatilización de NH_3 sean pequeñas.

El arroz irrigado de zonas bajas tiene un sistema radicular muy denso y fibroso con $>90\%$ de las raíces presentes en los primeros 20 cm del suelo. Las raíces de arroz adquieren eficientemente N de la capa reducida y del N aplicado al voleo durante etapas medias de crecimiento. Sin embargo, el N aplicado en la capa reducida tiene una presencia más prolongada en el suelo que el aplicado al voleo. El sistema radicular del arroz de secano se ramifica en el suelo a una mayor profundidad que el de sistemas del arroz irrigado.

Absorción y remoción de N por el cultivo

La eficiencia interna de N en arroz es afectada por el suplemento de N y el estado general de nutrientes en la planta. En una situación con nutrición balanceada y óptimas condiciones de crecimiento, la eficiencia interna óptima en variedades modernas de arroz es de 68 kg de grano por cada kg de N absorbido por la planta, lo que es equivalente a la remoción de 14.7 kg de N por tonelada de grano a niveles de rendimiento de 70-80% del rendimiento máximo.

En fincas de arroz irrigado en Asia, la remoción promedio de N observada es de ~ 17.5 kg de N t^{-1} de grano (**Tabla 2**). Por lo tanto, un cultivo de arroz con un rendimiento de 6 $t ha^{-1}$ de grano absorbe ~ 105 kg de N ha^{-1} , de los cuales el 40% permanece en la paja a la madurez. Si solamente se saca el grano y se retorna la paja al lote, se remueven ~ 10.5 kg de N t^{-1} de grano. Casi todo el N contenido en la paja se pierde en la quema.

Estos datos podrían no representar la óptima eficiencia de uso interno de N que podría mejorarse añadiendo suficientes cantidades

de P y K en sitios donde estos nutrientes son deficientes.

Manejo general de N

El tratamiento de las deficiencias de N es fácil y la respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados es rápida. Al aplicar fertilizantes nitrogenados se deben seguir las recomendaciones que se presentan más abajo en esta sección. La respuesta puede ser evidente después de 2-3 días (planta más verde, mejor crecimiento vegetativo), pero esto depende de la variedad de arroz, tipo de suelo, condiciones climáticas, tipo de fertilizante nitrogenado utilizado, cantidad aplicada y la época y método de la aplicación.

Para optimizar la eficiencia de uso de N en cada ciclo se requiere de un manejo dinámico basado en el suelo y en la planta. El ajuste de la cantidad de N aplicada en relación con la variación del suplemento de N nativo del suelo es tan importante como la época y sitio de aplicación y la fuente de N aplicada. El manejo de N debe enfocarse en sincronizar adecuadamente el suplemento con la demanda de N durante el ciclo de cultivo. A diferencia del P y K, el

efecto residual del N es muy bajo, pero también se debe considerar el manejo a largo plazo de las fuentes de N nativo del suelo.

Las medidas generales para mejorar la eficiencia de uso de N son las siguientes:

Variedades: No aplicar altas cantidades de N en variedades de menor respuesta, por ejemplo variedades tradicionales (altas) con un bajo índice de rendimiento, cultivadas en condiciones de secano de zonas bajas y zonas altas. Las variedades modernas convencionales de arroz no difieren mucho en su potencial de recuperación de nutrientes y en su eficiencia de uso interno. El arroz híbrido absorbe N mineral más eficientemente que las variedades de arroz tradicionales y particularmente absorbe NO_3^- durante las etapas tardías de crecimiento, de modo que una aplicación tardía de N en forma de NO_3^- puede resultar en un incremento significativo en el rendimiento.

Establecimiento del cultivo: Escoger un espaciamiento apropiado entre plantas para cada cultivar. Los cultivos con densidades menores a las óptimas no usan eficientemente el N. Se debe ajustar el número de fracciones a aplicar y la época de aplicación de N de acuerdo al método de establecimiento del cultivo. El arroz transplantado requiere de una diferente estrategia de manejo de N que el arroz sembrado directamente.

Manejo del agua: Mantener un apropiado control del agua, manteniendo el lote inundado para prevenir la denitrificación, pero evitando las pérdidas de N por escape del agua sobre los muros después de las aplicaciones de fertilizantes. Las condiciones fluctuantes de la humedad causan mayores pérdidas de N debido a la

Tabla 2. Absorción y contenido de N de las variedades modernas de arroz.

Parte de la planta	Rango típico observado ^a	Promedio observado ^b
kg de N absorbido t^{-1} de grano		
Grano + paja	15-20	17.5
Grano	9-12	10.5
Paja	6-8	7.0
Contenido de N (%)		
Grano	0.93-1.20	1.06
Paja	0.51-0.76	0.63
Espigas sin llenar	0.76-1.02	0.89

^a 25-75% de los rangos intercuantiles de lotes de agricultores y experimentos de campo en Asia (tratamientos +N, n = 1 300).

^b Mediana de lotes de agricultores y experimentos de campo en Asia (tratamientos +N, n = 1 300).

nitrificación-denitrificación. Los lotes pueden mantenerse húmedos, pero sin agua estancada, durante el crecimiento vegetativo inicial (emergencia y macollamiento inicial antes de la aplicación de N en arroz sembrado directamente). Sin embargo, el arroz requiere de condiciones de inundación para absorción de nutrientes, crecimiento y rendimiento óptimos, particularmente durante el crecimiento reproductivo.

Manejo del cultivo: La óptima respuesta a la aplicación de N depende del adecuado manejo general del cultivo. Se debe establecer una población densa y saludable, usando semillas de alta calidad de una variedad de alto rendimiento, con resistencia a múltiples plagas y enfermedades, usando una densidad apropiada de plantas para el cultivar. Controlar las malezas que compiten con el arroz por N. Controlar insectos y enfermedades (los daños reducen la eficiencia de la cobertura de biomasa y por lo tanto la productividad del arroz). Al final del ciclo de arroz, las pérdidas del NO_3^- residual del suelo pueden reducirse si se siembra un cultivo de bajo requerimiento de humedad para recuperar el N residual, o si se permite que las malezas se desarrollen para luego incorporarlas al suelo en el ciclo siguiente de cultivo de arroz.

Manejo del suelo: Corregir las deficiencias de otros nutrientes (P, K, Zn) y otros problemas del suelo (por ejemplo, poca profundidad del perfil para desarrollo de las raíces, toxicidades). La respuesta a la aplicación de N es baja en suelos ácidos de baja fertilidad de zonas bajas y de zonas altas con producción de secano, a menos que todos los problemas de fertilidad del suelo (acidez, toxicidad de Al, deficiencia de P, Mg, K y otros nutrientes) se hayan corregido. En estas condiciones (suelos de baja

CIC) se pueden aplicar mejoradores de suelo para incrementar la CIC (capacidad para absorber NH_4^+). En suelos de baja CIC (ultisoles y oxisoles ácidos, suelos degradados de arroz), si están disponibles a precios razonables, se pueden usar arcillas como vermiculita (CIC 100-200 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) o zeolita (CIC 200-300 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) para incrementar la eficiencia de uso de N. Estos materiales pueden aplicarse directamente al suelo o pueden mezclarse con los fertilizantes nitrogenados. Estos materiales no tienen ninguna ventaja en suelos que tienen una buena CIC.

Manejo de la materia orgánica: A largo plazo, se debe mantener o incrementar el suplemento de N de fuentes nativas del suelo a través de un adecuado manejo de la materia orgánica:

- Aplicar el material orgánico disponible (residuos de corral, residuos del cultivo, compost) en suelos que contengan baja cantidad de materia orgánica, particularmente en sistemas de arroz de secano de zonas bajas y en sistemas intensos de arroz irrigado donde se rota el arroz con otros cultivos como trigo o maíz.
- En sistemas irrigados arroz-arroz, hacer una labranza poco profunda en seco (5-10 cm) dentro de 2 semanas después de la cosecha. Esta labranza temprana mejora la oxidación del suelo y la descomposición de los residuos del cultivo durante el periodo de descanso, e incrementa la disponibilidad de N hasta la fase del crecimiento vegetativo del siguiente cultivo de arroz.
- Incrementar la capacidad de suplemento de N nativo en suelos permanentemente inundados por medio de drenaje y secado periódicos. Por ejemplo, drenaje de 5-7 días a media temporada en la etapa tardía del macollamiento (~35 días

después del transplante) o por medio de la aireación del suelo al sustituir un cultivo de arroz con otro como maíz, u omitiendo la siembra de un ciclo de arroz.

Manejo de los fertilizantes: La aplicación de fertilizantes nitrogenados es una práctica estándar en la mayoría de los sistemas de cultivo de arroz. Para alcanzar rendimientos de 5-7 t ha^{-1} , las dosis típicas de N varían en un rango de 80 a 150 kg ha^{-1} . Los factores que afectan la cantidad y la época de las aplicaciones de N en arroz son los siguientes:

- Variedad cultivada.
- Método de establecimiento del cultivo.
- Capacidad de suplemento de N (suplemento de N nativo del suelo), incluyendo el efecto residual de los cultivos o periodos de descanso previos.
- Manejo del agua.
- Tipo de fertilizantes nitrogenados utilizados.
- Método de aplicación.
- Propiedades físicas y químicas del suelo que afecten las transformaciones de los fertilizantes nitrogenados.

Las aplicaciones excesivas o desbalanceadas de N (cantidades altas de N en combinación con pequeñas cantidades de P, K u otros nutrientes) pueden reducir el rendimiento por uno o más de las siguientes razones:

- Sombreado entre hojas causado por el excesivo crecimiento vegetativo. Incremento en el número de macollos improductivos que dan sombra a los macollos productivos reduciendo la producción de grano.
- Volcamiento causado por la producción de tallos largos y delgados.
- Incremento en el número de granos vanos.

- Baja recuperación en el molino y deficiente calidad del grano.
- Incremento en la incidencia de enfermedades causadas por bacterias como *Xanthomonas oryzae*, o por hongos como *Rhizoctonia solani*, *Helminthosporium sigmoideum* y *Pyricularia oryzae*, debido al mayor crecimiento de las hojas y una excesiva biomasa.
- Incremento en la incidencia de insectos, particularmente dobladores de hojas como *Cnaphalocrocis medinalis*.

Las siguientes recomendaciones generales son importantes en el uso de fertilizantes nitrogenados en arroz:

- Aplicar alrededor de 15-20 kg de N t⁻¹ de la meta de rendimiento de grano. Los requerimientos de N son menores en cultivos conducidos en la temporada lluviosa (menos luz, menor potencial de rendimiento) y mayores en los cultivos de temporada seca (más luz, mayor potencial de rendimiento) donde dosis más altas de N resultan en más macollos y mayor área foliar, y por último en mayor rendimiento de grano.
- Fraccionar las recomendaciones de más de 60 kg de N ha⁻¹ en 2-3 aplicaciones en un cultivo en temporada lluviosa ó 3-4 aplicaciones en un cultivo en temporada seca. Usar más fracciones con las variedades de larga duración y en la temporada seca cuando el potencial de rendimiento del cultivo es mayor.
- Identificar la necesidad de una aplicación basal de N dependiendo en la dinámica de liberación de N del suelo, variedad y método de establecimiento del cultivo. Aplicar más N basal en las siguientes situaciones:

- En suelos con bajo NNS (<40 kg de N ha⁻¹).
- En cultivos donde existe amplio espacio entre sitios de transplante (<20 montículos m⁻²) para promover el macollamiento.
- En áreas con baja temperatura del aire y del agua al momento del transplante o siembra (arroz irrigado en lotes en sitios de elevada altitud).

Suelos con alto NNS (>50 kg de N ha⁻¹) generalmente no requieren de la aplicación basal de N al suelo. El arroz híbrido siempre necesita de N basal. Se deben evitar aplicaciones de altas cantidades de N basal (>50 kg de N ha⁻¹) en arroz transplantado si el crecimiento es lento durante las primeras 3 semanas después del transplante. Incorporar N basal en el suelo antes del transplante ó la siembra. Usar NH₄⁺ y enviar NO₃⁻ en la aplicación de N basal:

- Monitorear el estado del N en las plantas para optimizar el número y la época de aplicación de las fracciones de N en relación con la demanda del cultivo y con el suplemento de N del suelo. Usar un medidor de clorofila (SPAD) o una tabla de comparación de colores (TCC) como guía para el manejo de N. Los fertilizantes nitrogenados deben aplicarse cuando el cultivo tiene la mayor necesidad de N y cuando la tasa de absorción es alta. La mayor eficiencia de recuperación de N se logra en el periodo comprendido entre la segunda parte de la etapa de macollamiento y en la formación de la panoja. Usar NH₄⁺ como fuente de N para las aplicaciones al voleo.
- Hacer una aplicación tardía de N (en la floración) para retrasar la senescencia de las hojas y mejorar el llenado del grano, pero esta aplicación se hace solo en cultivos sanos con un buen potencial de rendimiento.

Los híbridos de arroz requieren de una aplicación de N en la floración. Para reducir el riesgo de volcamiento y la presencia de plagas no se debe aplicar excesivas cantidades de fertilizantes nitrogenados entre la iniciación de la panoja y la floración, particularmente en la temporada lluviosa.

- En lotes con el cultivo establecido se debe reducir o remover el agua de inundación antes de aplicar N al voleo y luego re-inundar, esto mejora el movimiento de N en el suelo. No se debe aplicar N al voleo cuando se esperen lluvias fuertes. No aplicar urea en agua estancada o en condiciones ventosas antes que se cierre la cobertura de la biomasa o al medio día cuando la temperatura del agua llega a sus niveles más altos.
- Usar otros métodos para incrementar la eficiencia de uso de N si éstos son económicamente viables. Ejemplos incluyen:
 - Colocación de N en la capa de suelo reducida, 8-10 cm por debajo de la superficie del suelo (colocación profunda de súper gránulos o tabletas de urea y bolas de lodo con N).
 - Uso de fertilizantes nitrogenados de lenta liberación (urea recubierta de S) o súper gránulos de urea incorporados antes de la siembra.

Información más detallada sobre el manejo de nutrientes y el diseño de recomendaciones de fertilización en arroz, incluyendo la bibliografía de este artículo, se encuentra en las publicaciones descritas en la página 13. ↗