



UNIVERSIDAD DE LA HABANA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
DE LA ZONA OCIDENTAL

Trabajo de Diploma

Titulo: Eficiencia de la fertilización nitrogenada en el cultivo del arroz en aniego (*Oryza sativa L.*) y empleo de variedades para su mejoramiento.

Autor: Edimir Jesus Hernández Meneses
Tutor: MSc. Pedro A. Meneses Dartayet
MSc. Jorge F. Meléndrez Rodríguez

2006-2007

"Año 49 de la Revolución."

RESUMEN

El presente trabajo, Titulado: "Eficiencia de la fertilización nitrogenada en el cultivo del arroz en aniego (*Oryza sativa* L.) y empleo de variedades para su mejoramiento", se realizó en la Estación Experimental del Arroz "Sur del Jíbaro" en la provincia de Sancti Spiritus, Cuba, durante los años 2004 - 2006, con el objetivo de estudiar la eficiencia en la utilización del nitrógeno por la planta de arroz. En el mismo se definieron las causas principales que limitan la eficiencia de la fertilización nitrogenada convencional en el cultivo del arroz en aniego y se ejecutaron ensayos experimentales para evaluar la respuesta al uso del nitrógeno en variedades de arroz en Sancti Spiritus, referidos, a la evaluación del comportamiento de genotipos de arroz en relación al Factor de Productividad Parcial del Nitrógeno (FPP_N) y evaluación del comportamiento de la eficiencia en el uso del nitrógeno en variedades de arroz en condiciones de suelo anegado. Se concluyó que: Los valores del factor productividad parcial del nitrógeno en el CAI sur del Jíbaro, se muestran inferiores al valor límite aceptado para variedades modernas semienanas del tipo indica; la evaluación de la eficiencia en el uso del nitrógeno en variedades de arroz mostró la necesidad de reconocer el manejo adecuado de la fertilización y la mejora varietal de la eficiencia en el uso del nitrógeno como características de potencial de alto rendimiento. Las variedades de arroz mostraron diferentes patrones de aprovechamiento del nitrógeno, los mejores comportamientos se obtuvieron en orden ascendente con las variedades IACuba-30, LP-5, FEDEARROZ 50, IACuba-31 y IACuba-36, con valores de eficiencia en el uso del nitrógeno que oscilaron de 34.08 hasta 41.4 kg de arroz producido por kg de nitrógeno aplicado.

INDICE

1	Introducción.	1
2	Revisión Bibliográfica.	4
2.1	El cultivo del arroz.	4
2.2	Condiciones de suelo.	5
2.3	Fertilización nitrogenada.	6
2.3.1	Etapas fenológicas y fertilización nitrogenada.	7
2.3.2	Determinaciones para la recomendación de nitrógeno.	8
2.3.3	Problemática actual: Perdida de nitrógeno y contaminación ambiental.	10
2.3.4	Disponibilidad y pérdida de nitrógeno en suelos inundados.	13
2.3.5	Dosis y fraccionamiento del nitrógeno.	15
2.3.6	Variedades.	16
2.3.7	Eficiencia del fertilizante nitrogenado amoniacal.	17
2.3.8	Fertilizante de liberación lenta o controlada.	19
2.3.9	Aditivos a los fertilizantes o fertilizantes estabilizados.	22
2.3.10	Eficiencia en el uso del fertilizante nitrogenado para la producción de granos.	25
3	Materiales y Métodos.	26
3.1	Situación general de la eficiencia en el uso del nitrógeno.	26
3.2	Dinámica del contenido de materia orgánica del suelo.	26
3.3	Dinámica de la eficiencia de la aplicación del fertilizante nitrogenado (Urea) en el tiempo.	27
3.4	Efecto del número de fraccionamientos del nitrógeno en la eficacia de este elemento sobre el rendimiento del arroz.	28
3.5	Evaluación del comportamiento de genotipos de arroz en relación con el Factor de Productividad parcial del Nitrógeno.	29
3.6	Evaluación del comportamiento de la eficiencia en el uso del nitrógeno en variedades de arroz.	29
3.7	Conducción Agronómica de los Experimentos.	30
3.8	Evaluaciones Realizadas a los Experimentos.	30
3.8.1	Observaciones del Crecimiento y Desarrollo.	30
3.8.2	Evaluaciones Realizadas en la etapa de Cosecha.	30
3.9	Análisis Estadístico.	31

4	Resultados y Discusión.	32
4.1	Situación general de la eficiencia en el uso del nitrógeno.	32
4.2	Dinámica del contenido de materia orgánica en el suelo.	33
4.3	Dinámica de la eficacia de la aplicación del fertilizante nitrogenado (Urea) en le tiempo.	34
4.4	Efecto del número de fraccionamientos del nitrógeno en la eficacia de este elemento sobre el rendimiento del arroz.	35
4.5	Evaluación del comportamiento de genotipos de arroz en relación con el Factor de Productividad parcial del Nitrógeno (FPP _N).	37
4.6	Evaluación de la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno (EUN) en variedades de arroz.	38
5	Conclusiones y Recomendaciones.	43
5.1	Conclusiones.	43
5.2	Recomendaciones.	44
6	Bibliografía.	45

1. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa L.*), se cultiva en condiciones ambientales más diversas que cualquier otra planta alimentaría en el mundo, debido a su gran capacidad de adaptación a tipos muy variados de clima, suelo y manejos agrotécnicos.

En Cuba el arroz (*Oryza sativa L.*), es un plato indispensable en la costumbre alimentaría de la población, con un consumo normado en el balance de 46 kg per cápita anual, el cual asciende a 56 kg per cápita al adicionar la producción de Arroz Popular, cifra que supera al resto de los países de América Latina y el Caribe (UCAIA, 2001).

La revolución verde del arroz en el mundo se caracterizó por la liberación y empleo de variedades más productivas, con mayor estabilidad en los rendimientos y una utilización más eficiente de los nutrientes, en comparación con las variedades tradicionales.

La introducción de las nuevas variedades en Cuba, trajo como consecuencia un incremento importante de la producción, al asociar el cultivo con un uso mayor de fertilizantes químicos, fundamentalmente nitrogenados, constituyendo estos la variable más relevante en la fijación del rendimiento de las variedades modernas de arroz; este elemento es responsable de procesos fisiológicos como morfogénesis, crecimiento foliar, fotosíntesis y senescencia (De Datta, 1981)

La absorción que realiza la planta de arroz a partir del nitrógeno aplicado puede llegar a niveles tan bajos como un 30 % y alcanzar solamente un máximo de 60 % en condiciones óptimas, debido principalmente a la baja estabilidad de este elemento en el suelo (pérdidas que se producen por arrastres, lavado a capas profundas o a las aguas subterráneas, volatilización y fijación del amoníaco), lo que convierte al nitrógeno en uno de los agentes más contaminantes de la agricultura moderna.

Por otra parte, según lo expresado por Meneses, (2005), la Urea es un fertilizante de liberación rápida, que cuando se fertiliza utilizando el método calendario de tres o cuatro fraccionamientos posee una baja eficiencia en la recuperación del nitrógeno y generalmente no supe las necesidades nutricionales de la planta de arroz, con vistas a obtener el rendimiento potencial de las variedades modernas, especialmente en las condiciones actuales de suelos degradados de la Arrocería "Sur del Jíbaro", en la actualidad también los precios del fertilizante se han incrementado, como consecuencia de la alta cotización del petróleo, por lo que obtener una mayor eficiencia se hace cada vez más necesario.

Del mismo modo, la clave para alcanzar un manejo más eficiente del fertilizante nitrogenado radica en sincronizar lo más adecuadamente posible la demanda del nutriente por el cultivo con la tasa de liberación del mismo.

Las limitaciones del manejo del cultivo están relacionadas entre sí y requieren un enfoque

sistémico plenamente integrado, conocido también como manejo integrado del cultivo, que combina holísticamente las variedades, el suelo y el agua, los nutrientes, las plagas y otras prácticas de manejo, para lograr una eficiencia económica óptima y la sostenibilidad del medio ambiente.

El incremento en los precios del nitrógeno como fertilizante ha incentivado la búsqueda de métodos que permitan incrementar la eficiencia de las plantas de arroz en la utilización de este nutrimento.

Teniendo en cuenta los aspectos señalados anteriormente se determinó el siguiente problema científico. ¿Cómo mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno en la producción arrocerá del CAI Sur del Jíbaro?.

Para encaminar nuestra investigación y dar respuesta al problema científico expresado anteriormente, se concibió la hipótesis siguiente: La introducción de variedades de arroz más eficientes en el uso del nitrógeno, garantizan el incremento de los rendimientos agrícolas y la sostenibilidad de la producción arrocerá.

A partir de la formulación de dicha hipótesis se trazaron los siguientes objetivos de trabajo:

Objetivo General

1. Determinar medidas agrotécnicas que contribuyan al mejoramiento de eficiencia de la fertilización nitrogenada en la producción arrocerá del Complejo Agropecuario – Industrial Sur del Jíbaro.

Objetivos Específicos:

1. Definir las causas principales que limitan la eficiencia de la fertilización nitrogenada convencional en el cultivo del arroz en aniego.
2. Evaluar la eficiencia en el uso del nitrógeno de las variedades más utilizadas en el Complejo Agropecuario e Industrial “Sur del Jíbaro”.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 El cultivo del arroz

El arroz (*Oryza sativa L.*), comenzó a cultivarse hace alrededor de 10 000 años en regiones húmedas de Asia Tropical y Subtropical; posiblemente sea la India el país donde se cultivó por primera vez, debido a que en ella abundan los arroces silvestres, pero el desarrollo del cultivo tuvo lugar también en China, desde sus tierras bajas a sus tierras altas; posiblemente hubo varias rutas por las cuales los arroces de Asia se introdujeron a otras partes del Mundo. El arroz puede cultivarse en una amplia gama de suelos, variando su textura desde arenosa a arcillosa; se suele cultivar en suelos de textura fina y media, propias del proceso de sedimentación en las amplias llanuras inundadas y deltas de los ríos; los suelos de textura fina dificultan las labores pero son más fértiles al tener mayor contenido de arcilla y materia orgánica, además de suministrar más nutrientes, por lo que la textura del suelo juega un papel importante en el manejo del riego y los fertilizantes. El arroz es el cultivo más importante del mundo si se considera la magnitud de la

superficie en que se cultiva y la cantidad de personas que dependen de su cosecha; ocupa el segundo lugar después del trigo si se considera el área total cosechada, pero si se considera su importancia como cultivo alimenticio, el arroz proporciona más calorías por hectárea que cualquier otro cereal; además de su importancia como alimento, el arroz proporciona empleo al mayor sector de la población rural de Asia, pues es el cereal típico de Asia Meridional y Oriental, aunque también es ampliamente cultivado en África y en América y no solo ampliamente sino también intensivamente en algunos puntos de Europa meridional, sobre todo en las regiones mediterráneas. La mayor producción a escala mundial se concentra en los climas húmedos tropicales; también puede cultivarse en las regiones húmedas de los subtrópicos y en los climas templados. Su cultivo se extiende desde los 49 – 50 grados de Latitud Norte a los 35 grados de Latitud Sur y en altitud desde el nivel del mar hasta los 2500 metros; las precipitaciones condicionan el sistema y las técnicas a desarrollar, sobre todo cuando se cultiva en tierras altas, las que están más influenciadas por la variabilidad de las mismas (Stevenson, 1986).

2.2 Condiciones de suelo.

Los suelos inundados ofrecen un ambiente único para el crecimiento y nutrición del arroz, pues la zona que rodea al sistema radical se caracteriza por la falta de oxígeno, por tanto, para evitar la asfixia radicular la planta de arroz posee unos tejidos especiales, espacios de aire bien desarrollados en la lámina de la hoja, en la vaina, en el tallo y en las raíces que forman un sistema muy eficiente para el paso del aire. La mayoría de los suelos tienden a cambiar su pH hacia la neutralidad pocas semanas después de la inundación: el pH de los suelos ácidos aumenta con la inundación, mientras que para los suelos alcalinos ocurre lo contrario; el pH óptimo para el arroz es de 6.6, pues con este valor la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo de la materia orgánica es alta, además las concentraciones de sustancias que interfieren la absorción de nutrientes, tales como aluminio, manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos, están por debajo del nivel tóxico (Tinarelli, 1989).

El conocimiento de la dinámica de la materia orgánica del suelo (MOS) es esencial para entender el flujo del carbono (C) y el nitrógeno (N) en el mismo. Estudios empíricos y modelos de simulación, sugieren que las diferencias en cantidad y calidad de los aportes orgánicos al suelo dan las diferencias en el tamaño de los “pooles” orgánicos y las tasas de mineralización del carbono y el nitrógeno; sin embargo, aún persisten dudas sobre el efecto de la textura (% de arcilla + limo) sobre el reciclaje del carbono en el suelo. Es bien sabido que los suelos arcillosos retienen una mayor cantidad de materia orgánica que los arenosos, no obstante aplicárseles el mismo aporte a ambos (Hassink, 1994). Estas diferencias resultan de la mayor protección de la materia orgánica del suelo contra la biodegradación (Van Veen and Kuikman, 1990). La protección ocurre cuando la materia orgánica del suelo es adsorbida sobre la superficie de las partículas de arcilla y limo, o cuando es “incrustada” o recubierta por los minerales de arcilla

(Golchin et al; 1994) o cuando se localiza dentro de los microagregados, fuera del alcance de los microorganismos (Elliott and Coleman, 1988). Todos estos mecanismos afectan negativamente las tasas de mineralización del carbono y el nitrógeno (Skjemstad et al; 1993).

2.3 Fertilización nitrogenada.

En la atmósfera terrestre el nitrógeno es el componente mayoritario, ya que según Stevenson (1986), el 79.08 % de su volumen esta constituido por N_2 . Este elemento también se encuentra ligado a otros formando diversos compuestos, los cuales son susceptibles de ser arrastrados por el agua de lluvia, este hecho junto con la fijación de N_2 atmosférico por bacterias libres y ciertas leguminosas, constituye las principales vías naturales de aporte de nitrógeno a la litosfera. Hasta principios del siglo XX el suelo agrícola se fertilizaba en nitrógeno (N) mediante rotación de cultivo con leguminosas y/o la adición de materia orgánica; el crecimiento de la población y la demanda de alimentos conllevó a la necesidad de aumentar la fertilidad de los suelos con el fin de obtener mayores rendimientos, por lo que se hizo ineludible el fomento de la investigación relacionada con la fijación de nitrógeno atmosférico y la producción de fertilizantes nitrogenados. En un principio, los fertilizantes nitrogenados más empleados fueron: Sulfato de Amonio, Nitrato Amónico, Nitrato Sódico, Nitrato Amónico Clásico, Cianamida y Urea. En los últimos 25 años la Urea ha cobrado un gran interés, convirtiéndose en uno de los más importantes fertilizantes nitrogenados, así en 1984/85 el 37 % de los 70 millones de TM de nitrógeno empleado como fertilizante lo fue en forma de Urea, mientras que en 1955 alcanzaba solamente el 5 % (Sheldrick, 1987).

El nitrógeno se absorbe durante todo el ciclo de la planta, coincidiendo las mayores extracciones durante las fases de crecimiento vegetativo activo (ahijamiento y encañado) y reproductiva (floración y llenado del grano). Durante el desarrollo vegetativo el arroz absorbe nitrógeno en forma amoniaca, que estimula el ahijamiento e incrementa el número de panículas; al iniciarse la fase reproductiva absorbe preferentemente el nitrógeno nítrico, que incrementa el número de espiguillas (Munevar, 1995).

El nitrógeno en forma amonica que el arroz absorbe activamente en etapas tempranas se aprovecha en la síntesis de proteína, producción de macollas y vainas de las hojas (Yoshida, 1981). De lo anterior se infiere que a mayor absorción de nitrógeno mayor cantidad de macollas efectivas por unidad de superficie, en consecuencia, un contenido óptimo de nitrógeno entre la fase de máximo ahijamiento y la formación de la panícula permite una adecuada densidad de panículas (Tinarelli, 1989). En este estado inicial de formación de la panícula la disponibilidad de nitrógeno es indispensable para fortalecer el desarrollo reproductivo del arroz; entre 20-25 días antes de la floración la planta de arroz empieza su etapa reproductiva con la formación del primordio, en ese 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 y 2 mm de longitud (De Datta, 1981), en esta etapa 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 nitrógeno se incrementa significativamente. El

adecuado abastecimiento de nitrógeno en este periodo asegura mayor cantidad de espiguillas, mayor tamaño de la panícula y máxima cantidad de granos llenos (Yoshida, 1981, De Datta, 1981 y Tinarelli, 1989).

2.3.1 Etapas Fenológicas y fertilización nitrogenada:

El nitrógeno es el elemento nutritivo que más directamente está relacionado con el incremento de la producción y la calidad al influir positivamente sobre:

- Número de hijos por planta.
- Número de espiguillas por panícula.
- Porcentaje de granos llenos por espiguillas.
- Densidad del grano.
- Contenido proteico del grano.

El nitrógeno es el nutriente que ejerce mayor influencia sobre el crecimiento y el rendimiento en grano. La planta de arroz tiene dos periodos de máximo requerimiento de nitrógeno. El primero tiene lugar entre los 25 y 50 días después de la siembra, coincidiendo con el periodo de ahijamiento, cuando la planta incrementa significativamente su área foliar y se determina el número de panículas por unidad de superficie. El segundo ocurre al comienzo de la fase reproductiva. Debe estar disponible una adecuada cantidad de nitrógeno durante este periodo de alargamiento del tallo y desarrollo de la panícula, en el que se determina el número potencial de granos por panícula (Aguilar y Espinosa, 2003).

En la paniculación la planta ya ha absorbido más del 75% de sus necesidades totales de nitrógeno, que se acumula principalmente en las hojas. Aproximadamente dos tercios del nitrógeno contenido en las partes verdes es translocado al grano a lo largo de su periodo de llenado y maduración.

La planta de arroz crece mejor y alcanza mayores rendimientos cuando es fertilizada con abonos amoniacales (urea, fosfato amónico, etc.) que con nitratos. En realidad las raíces pueden absorber por igual el nitrógeno en forma amónica que en forma nítrica, pero los nitratos en un suelo inundado sufren altas pérdidas por desnitrificación y percolación. Por ello, las aplicaciones de nitrógeno nítrico en cobertera, a veces necesarias, es mejor realizarlas cuando el sistema radicular ha alcanzado un desarrollo suficiente en superficie, normalmente a partir de las cinco o seis semanas después de la siembra, a fin de ser rápidamente absorbidas y disminuir sus pérdidas.

La incorporación del abono amoniacal, a unos 5-15 cm de profundidad, reduce las pérdidas de nitrógeno y lo hace menos disponible para las plántulas de malas hierbas que germinan cerca de la superficie del suelo.

2.3.2 Determinaciones para la recomendación de nitrógeno.

Conocer el estado nutricional del cultivo en sus diferentes etapas fenológicas es indispensable para definir los momentos propicios para ejecutar la fertilización nitrogenada. El análisis de tejido verde (análisis foliares) es una forma de conocer el contenido de nitrógeno y la necesidad de nutrimento en la planta de arroz, aunque esta técnica proporciona resultados precisos, su costo y las demoras necesarias para completar el análisis en el laboratorio hacen que sea inadecuada para efectuar recomendaciones de fertilizantes oportunamente, un recurso alternativo al análisis foliar es la estimación del contenido de nitrógeno en hojas a través de mediciones de la clorofila, puesto que facilita la estimación del status del nitrógeno en las hojas en forma inmediata; mientras que la deficiencia de nitrógeno se manifiesta con un amarillamiento que comienza en las hojas inferiores más viejas, en plantas adecuadamente fertilizadas con este elemento se observa un color verde intenso (Quirós y Ramírez, 2006); dada esta respuesta fisiológica se puede inferir el contenido de nitrógeno mediante la medición de la clorofila en la planta y conocer de este modo el estado nutricional del cultivo, ayudando en la toma de decisiones con respecto a la cantidad y momento propicio de efectuar la fertilización nitrogenada en el arrozal (Villar y Ortega, 2002).

Varios estudios han mostrado que a través del uso de un instrumento medidor del contenido de clorofila en tejidos verdes (IMC) SPAD-502, se puede estimar el nitrógeno presente en las hojas del arroz (Lihong et al; 2004, Chung et al; 2000). Este instrumento ha sido utilizado para predecir las necesidades de nitrógeno en diversos cultivos como maíz, trigo, tomate, papa y sorgum (Novoa y Villagrán, 2002, Singh et al; 2002); sin embargo, otros estudios han encontrado limitaciones en el uso práctico de las mediciones de clorofila debido a diferencias en las variedades o a condiciones ambientales cambiantes, tales como estrés hídrico, temperaturas extremas, diferencias nutricionales distintas al nitrógeno o daños causados por insectos; por estas razones, para lograr mayor precisión en las estimaciones del instrumento medidor de clorofila se requiere determinar la relación particular para cada cultivo y variedad.

Según Aguilar y Espinosa (2003), la determinación del contenido total de nitrógeno en el suelo es insuficiente para recomendaciones de abonado, dado que este análisis incluye la forma nítrica, que en buena parte se pierde o inutiliza, como sabemos, tras la inundación de la parcela.

En determinadas situaciones es conveniente analizar el agua de riego ya que su riqueza en nutrientes puede modificar nuestras previsiones de abonado.

La investigación y la experiencia de campo han demostrado la validez de los análisis de suelo, efectuados antes de la inundación, así como de los análisis foliares (como método auxiliar), que se efectúan durante el periodo vegetativo del arroz, como base para recomendar el abonado.

Existe una relación entre la dosis de abonado, el rendimiento en grano y el contenido en hoja de cada uno de los nutrientes. En esto se basa la utilización del análisis foliar. Para la dosis de abonado con la que se alcanza el máximo rendimiento en cada variedad se ha delimitado, en determinados estados fenológicos, el intervalo adecuado de concentración y el nivel crítico para cada nutriente.

Las muestras se suelen tomar en cuatro estados fenológicos: medio ahijado, máximo ahijado, iniciación de la panícula y hoja bandera. Las tres primeras muestras se utilizan para determinar la necesidad de abonado de cobertera, mientras que la muestra de la hoja bandera, en combinación con las otras, es útil para recomendaciones de abonado en la próxima campaña. La validez del análisis foliar exige realizar un muestreo de la parte adecuada de la planta (limbos de las hojas más recientemente maduras, también llamadas hojas-Y). En cada estado fenológico se toma una muestra al azar compuesta de veinte o treinta limbos por cada 2-3 ha. Las muestras limpias y adecuadamente etiquetadas se envían al laboratorio.

2.3.3 Problemática actual: Pérdida de nitrógeno y contaminación ambiental.

En mayor proporción que en otros cultivos, la productividad del arroz depende de la disponibilidad y eficiencia en la absorción del nitrógeno, tanto por su contribución directa como por permitir la absorción de otros nutrimentos (Ramírez, 2001). Aunque el cultivo es capaz de usar en forma efectiva las fuentes amoniacales, cuando se aplica una dosis más alta que la necesaria o su distribución es inapropiada, ocurren pérdidas especialmente por nitrificación y volatilización; cuando se aplica Urea sobre lámina de agua o sobre barro, las pérdidas de nitrógeno por volatilización pueden ser de hasta el 80 % (De Datta, 1981). Por otra parte, si el nitrógeno se aplica en forma de nitratos, pudieran ocurrir pérdidas por lixiviación, por tal razón no deben usarse tales fuentes de nitrógeno en agroecosistemas inundados (Molina, 2003).

La pérdida de nitrógeno a partir de la fertilización aplicada puede suponer cantidades importantes, por lo que se hace muy conveniente conocer las consecuencias que se pueden derivar, las vías por la que se lleva a cabo y la forma de minimizarlas.

Las principales causas por las que se producen pérdidas de nitrógeno en el sistema suelo – planta son:

Lavado y arrastre en forma de NO_3^- (lixiviación): Habitualmente es el factor mayoritario, ya que a su elevada movilidad en el suelo, se une el ser la última especie química producida en el ciclo de mineralización del nitrógeno, lo que conduce a pérdidas entre 2×10^9 y $3,7 \times 10^9$ kg de N/año (Stevenson, 1986). El efecto más destacado es la contaminación de las aguas subterráneas, ya que es un problema que una vez manifestado puede durar décadas debido a la lenta velocidad de recarga de los acuíferos (se estima que esta operación puede necesitar entre 50 y 100 años). Las aguas naturales suelen contener menos de 3 PPM de NO_3^- , no obstante se ha observado en los últimos 30 años incrementos entre 35 y 100 veces, superando en ocasiones los 45 mg /l que es el límite máximo permitido por el U.S Public Health Service Drinking Water Standards (Ramos et al; 1989). Este incremento de la presencia de nitrato en las aguas naturales se torna en un problema muy grave cuando éstas se incorporan a la cadena eutrófica humana, ya que puede originar metahemoglobinemia (aumento del nivel de metahemoglobina, en perjuicio del nivel de hemoglobina) que en casos agudos y especialmente en lactantes, puede producir la muerte (Oertli, 1980; Rozman and Montserrat, 1989). También se ven afectadas las aguas superficiales, ya

que un aporte masivo de nitrógeno puede conducir a la eutrofización de las mismas (crecimiento desmesurado de algas y plantas acuáticas que consumen gran cantidad de O_2 , a costa de otros seres vivos que perecen por esta razón) que puede ser el origen de infecciones, así como de mal sabor y olor (Newbould, 1989; Keeney, 1982).

Volatilización como NH_3 : Puede constituir también, una fuente importante de pérdida, ya que oscila entre el 3 y el 50 % del nitrógeno aplicado (Stevenson, 1986), dependiendo del tipo de fertilizante utilizado y la cantidad empleada, así como de factores medioambientales (textura del suelo, temperatura, pH, etc). Los aspectos que más influencia ejercen en este proceso son: Elevado pH del suelo, altas temperaturas, baja capacidad de retención catiónica del suelo, adición superficial de abonos y fertilizantes, ausencia de vegetación y suelos muy secos.

Desnitrificación, con pérdida en forma de N_2 , N_2O y otros compuestos nitrogenados: Este proceso produce mayoritariamente una liberación de N_2 y óxido de nitrógeno, fundamentalmente N_2O , a la atmósfera; se puede llevar a cabo por dos vías: desnitrificación biológica y desnitrificación química. La biológica es con mucho la más importante, ya que la pueden llevar a cabo numerosas bacterias y hongos del suelo, tanto en condiciones aerobias como anaerobias (Robertson and Kvenen, 1984), cifrándose las pérdidas en un 10 – 30 % del nitrógeno aplicado (Ryden, 1983; Ryden, 1984). Estas pérdidas, además de suponer una disminución en la eficacia de los fertilizantes, pueden influir en el contenido de O_3 de la atmósfera, como consecuencia de la reacción que experimentan los óxidos de nitrógeno con dicha especie química (Crutzen, 1983). Este hecho conlleva la llegada de radiaciones ultravioletas de alta energía a la superficie terrestre, con el consiguiente aumento en el riesgo de cáncer de piel (Oertli, 1980).

Inmovilización del nitrógeno mineral del suelo: La formación de humus estable (Jansson and Persson, 1982) se puede considerar también como una forma de pérdida de nitrógeno ya que este elemento, aún presente en el suelo, pasa así a formar parte de compuestos no asimilables por las plantas; se estima que el 10 – 40 % del nitrógeno aplicado como fertilizante permanece en el suelo en forma orgánica después del primer cultivo (Legg and Meisinger, 1982), y tan solo una pequeña porción de este nitrógeno se encuentra a disposición de los vegetales en años sucesivos, ya que únicamente se removiliza el 15 % del nitrógeno inmovilizado inicialmente, este proceso de inmovilización es difícilmente subsanable por acompañar al proceso de mineralización que se produce en el suelo, pudiendo minimizarse agregando la cantidad de fertilizante más aproximada a los requisitos vegetales del momento y teniendo en cuenta la capacidad del suelo para suministrar nitrógeno asimilable por las plantas (Broadbent and Carlton, 1978).

Erosión: Esta pérdida de nitrógeno se lleva a cabo mayoritariamente en formas orgánicas que depositadas frecuentemente en fondos lacustres y oceánicos, tienen escasas oportunidades de ser recicladas a un sistema agrícola, estableciéndose por este concepto pérdidas de 4.5×10^9 kg de N/año (Legg and

Meisinger, 1982).

2.3.4 Disponibilidad y pérdidas del nitrógeno en suelos inundados.

La capacidad de la planta de arroz (*Oryza sativa*) para absorber el nitrógeno en formas amoniacal (NH_4^+) y Nítrica (NO_3^-), permite obtener una alta eficiencia al utilizar fuentes amídicas como la urea, que a pesar de ser altamente soluble e higroscópica, ha sido la fuente utilizada por excelencia de los agricultores arroceros.

La disponibilidad del nitrógeno presente en los suelos inundados depende de procesos como: la mineralización de la materia orgánica (hidrólisis de proteínas a polipéptidos y aminoácidos con consiguiente desaminización que resulta en la formación de NH_4^+); la fijación del nitrógeno atmosférico por algas y bacterias heterótrofas; en las cavidades de la azolla o helecho de agua (*Salvinaceae*) se alberga un alga cianofícea llamada anabaena, siendo el alga quien capta el N atmosférico y lo fija en tasas hasta de 20 kg de N/ha); la lluvia fija entre 5 y 14 kg de N/ha; y por último la adición de fertilizantes nitrogenados. (Yoshida, 1981; De Datta, 1981).

Las pérdidas de nitrógeno en suelos inundados ocurren principalmente por fenómenos como desnitrificación, volatilización del amonio (NH_4^+), lixiviación y escorrentía superficial.

La desnitrificación depende de factores como tipo de suelo, temperatura, contenido de materia orgánica y microorganismos desnitrificadores. Susuki, (1997), reportó pérdidas por desnitrificación del orden de 30 y 40 % del total de nitrógeno aplicado entre los 12-14 días después de la aplicación de fertilizantes como sulfato de amonio, lo cual representa entre el 10% y el 95 % de los gases emitidos a la atmósfera por los suelos inundados.

Fairhurst and Dobermann (2002), observaron que las pérdidas de nitrógeno por desnitrificación estaban en proporción directa con los contenidos de materia orgánica del suelo.

Los contenidos de oxígeno de la capa aeróbica del perfil de un suelo arroceros, inciden directamente sobre la velocidad de los procesos de desnitrificación a los que están sujetos los amonios provenientes de la hidrólisis catalítica de la urea; de allí la importancia de garantizar la saturación hídrica del suelo mediante el sistema de mojes permanentes hasta que el cultivo tenga la capacidad de soportar lámina permanente, que en condiciones de nivelación relativamente uniformes se puede establecer a los 30 días después de siembra.

La volatilización del amonio (NH_4^+), es el fenómeno que mayores pérdidas representa para los agricultores que aplican la Urea sobre barro o lámina de agua (pérdidas entre el 60 y 80% del nitrógeno aplicado). Este proceso se presenta entre los primeros 2 a 5 días después de la aplicación de urea. La volatilización del amonio está en función de propiedades del suelo como: contenidos de humedad, pH,

capacidad de intercambio catiónico (CIC), textura, contenidos de limo, temperatura y condiciones atmosféricas. (De Datta, 1981).

Diversos estudios mostraron relación directa entre valores altos de pH del suelo y altas pérdidas de amonio por volatilización; y relación inversa entre la capacidad de intercambio catiónico y las pérdidas por volatilización del amonio (Sader et al; 1990).

La magnitud de las pérdidas por volatilización del amonio, es afectada por diversas prácticas agronómicas como fuentes, métodos y épocas de aplicación de nitrógeno. Guerrero, (1995), asegura que bajas pérdidas por volatilización son reportadas al utilizar fuentes como la urea y el sulfato de amonio incorporadas dentro de la capa reducida del perfil del suelo arrocero (a profundidades de 10 a 12 cm) (Wilson et al; 1998).

2.3.5 Dosis y fraccionamiento del nitrógeno.

Las dosis de nitrógeno dependen de múltiples aspectos entre los que se mencionan: sistema de siembra, variedad, densidad de siembra, susceptibilidad de las variedades a enfermedades como *Pyricularia grisea* y *Rhizoctonia solani*, susceptibilidad a volcamiento, etc. (FEDEARROZ, 2000). A lo largo de los años, los agricultores han aplicado el nitrógeno utilizando prácticas de baja eficiencia, como lo son las aplicaciones de urea sobre lámina de agua, la cual resulta en pérdidas por volatilización que oscilan entre el 60 y 80% (De Datta, 1981). Además, las aplicaciones de Urea sobre lámina de agua incrementan significativamente la contaminación atmosférica por emisiones de N (David and Otsuka, 1994).

Respecto al fraccionamiento de la fertilización nitrogenada, sigue siendo muy común el método calendario de tres o cuatro aplicaciones, donde el porcentaje de nitrógeno aplicado en cada lapso no supe las necesidades nutricionales de la planta en los momentos fisiológicos críticos para la obtención de rendimientos óptimos (Osada, 1995; Wilson et al; 1998).

El fraccionamiento del abonado nitrogenado es práctica habitual en la mayor parte de las regiones arroceras del mundo y son indiscutibles sus ventajas, especialmente en los suelos de textura franca o arenosa, basadas en poder aplicar el nitrógeno conforme la planta lo requiere. Es lógico pensar que fraccionando, al aumentar su eficiencia, se pudiese disminuir algo la dosis total de nitrógeno respecto a la aplicación única en fondo; por el contrario aumentarían los gastos de organización y distribución. En California, la investigación aconseja la aplicación en fondo como práctica básica y más económica del abonado nitrogenado, tal como habitualmente se lleva a cabo en Andalucía.

La dosis de fertilizante mineral dependerá principalmente de la fertilidad y tipo de suelo, de la clase y cantidad de los restos de cosecha y de las posibles enmiendas orgánicas incorporadas, de la variedad, de las condiciones climáticas y de la experiencia de campañas precedentes. Menor cantidad de nitrógeno es necesaria en terrenos nuevos para el cultivo del arroz. Las áreas rellenadas con tierra procedente de rebajes

requieren menos abonado que las que han perdido, en este proceso, su fértil capa superficial. Si la fecha de siembra se retrasa, acortándose el ciclo vegetativo, las necesidades de nitrógeno se reducen. Cuando la lluvia y el frío afectan la preparación del lecho de siembra, además de las pérdidas de nitrógeno por volatilización, la materia orgánica se mineraliza más lentamente y la plántula queda privada de nitrógeno rápidamente disponible en esta etapa crítica. En áreas cercanas a las entradas de agua de riego frecuentemente no es necesaria la aplicación de abonado debido principalmente al nitrógeno aportado por el agua de riego así como a su mayor oxigenación, que estimula la proliferación de microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico (Aguilar y Espinosa, 2003).

2.3.6 Variedades.

Según se ha expresado, la respuesta del arroz al fertilizante nitrogenado es baja debido a pérdidas por volatilización, desnitrificación, lixiviación, fijación del amonio, inmovilización y baja absorción por la planta. En el pasado, el bajo costo del fertilizante nitrogenado en relación con el precio del arroz originó que los agricultores prefirieran aplicar altas dosis del fertilizante antes que hacer un esfuerzo para mejorar la eficiencia en su empleo (Rico and De Datta, 1982a)

Los rastros acumulados en la superficie pueden modificar la disponibilidad de N para el cultivo porque en su descomposición por los microorganismos del suelo se consume parte de las existencias disponibles, esto resulta perjudicial para el cultivo, especialmente en suelos vertisoles, cuyas arcillas con cargas negativas tienen alta capacidad para adsorber el amonio (Molina, 2003).

En los momentos actuales, el incremento en los precios del nitrógeno como fertilizante ha incentivado la búsqueda de métodos que permitan incrementar la eficiencia en la utilización de este nutrimento (Rico and De Datta, 1982b)

Las variedades de arroz que explotan eficientemente el nitrógeno del suelo y de los fertilizantes aplicados, han permitido a los agricultores obtener buenos rendimientos con aplicaciones moderadas de estos fertilizantes, también la solución a dichas pérdidas radica en el aporte de cantidades menores de los mismos con una mayor frecuencia, o bien con el empleo de abonos de liberación lenta; éstos últimos van aportando el nitrógeno progresivamente, de forma que si no se eliminan totalmente las pérdidas, éstas se reducen en gran medida; aún no se ha resuelto totalmente este problema, ya que el ritmo de liberación del nitrógeno asimilable no coincide con la demanda de la planta. Los abonos de liberación lenta presentan además, el inconveniente de su elevado costo por unidad de nitrógeno aportado, por lo que su uso se restringe a algunos cultivos con un período vegetativo largo o aquellos que se desarrollan en climas o suelos que favorecen las pérdidas de nitrógeno.

2.3.7 Eficiencia del fertilizante nitrogenado amoniacal.

El abonado es una de las prácticas agrícolas más importantes puesto que constituye la base imprescindible

para el máximo desarrollo de las demás mejoras tecnológicas introducidas. En efecto carece de sentido plantar una nueva variedad si no aplicamos los fertilizantes en la medida que la planta lo necesita, ya que se corre el riesgo de no obtener todo el potencial que la planta es capaz de proporcionar o incluso es posible que se obtengan resultados negativos (Leinweber and Reuter, 1992).

Uno de los principales problemas que presenta la fertilización es el efecto a mediano y largo plazo ejercido sobre la planta, la consecuencia de una fertilización deficiente no se percibe de forma clara, sino en base a un decrecimiento progresivo de productividad y de forma más inmediata en una calidad deficiente; la planta se afecta por la carencia de nutrientes mucho antes de que aparezcan los primeros síntomas visuales identificables por el agricultor; cuando se manifiestan tales síntomas, el problema se encuentra ya en un estado muy avanzado, cuando ya resulta difícil corregir y en cualquier caso muy costoso; por ello es importante mantener el estado nutricional de la planta en un nivel óptimo. (Sowers et al; 1994)

El nitrógeno es fundamental para la planta de arroz, es el elemento que más influencia tiene en el rendimiento y los costos de producción, por ello es necesario hacer un uso eficiente del mismo; este cultivo necesita nitrógeno durante todo su período vegetativo, pero las mayores exigencias se presentan durante el macollamiento. La capacidad de macollamiento, la resistencia al acamado y el buen potencial de rendimiento son características favorables que unidas a la habilidad para aprovechar eficientemente los nutrientes aplicados, pueden incrementar el rendimiento promedio en el cultivo del arroz. El empleo de variedades mejoradas y la adopción de prácticas adecuadas de manejo del cultivo, permiten al agricultor arrocero mejorar la eficiencia y la productividad; cada variedad tiene un potencial de respuesta al rendimiento y por ende la eficiencia en el uso de los fertilizantes es variable.

La eficiencia del abonado amoniacal depende de las propiedades del fertilizante, del método de aplicación y, en el caso inusual de productos que tienen alta presión de vapor (como el amoniaco anhidro), de las condiciones del suelo durante la aplicación. No existen diferencias significativas en rendimiento en grano aplicando el nitrógeno bien en forma de urea o de sulfato amónico, aunque probablemente la urea sufra pérdidas ligeramente superiores a causa de su proceso de hidrólisis. El arrocero suele elegir la forma amónica que suministre la unidad de nitrógeno a más bajo coste y de mayor facilidad de aplicación (Aguilar y Espinosa, 2003).

Según algunos autores (Wilson et al; 1998, Jaramillo et al; 2003), una forma de minimizar las pérdidas por volatilización es fertilizar con la dosis completa de N en una sola aplicación temprana, justo antes de introducir la lámina de agua permanente, esto es posible gracias a que la absorción del amonio a las arcillas es mayor en suelo seco que en suelo húmedo, pues el mojado reduce la superficie de contacto directo con las arcillas, además aplicando una lámina de agua inmediatamente después de la fertilización se induce la anaerobiosis, se inhibe la nitrificación y en consecuencia disminuyen las pérdidas de N por volatilización

(Molina, 2003). Sin embargo en la práctica los productores por lo general fraccionan el fertilizante nitrogenado en tres o más aplicaciones.

Las variedades modernas resultan más eficientes en la relación del incremento de la productividad en base al uso del nitrógeno, o sea, producen mayor cantidad de kilogramos de arroz por cada kg de fertilizante nitrogenado aplicado, sin embargo, en ausencia de este fertilizante las variedades modernas también logran mayor rendimiento que las tradicionales. (Berrio et al; 2002).

2.3.8 Fertilizantes de Liberación Lenta o Controlada.

En los últimos 40 años, la industria de fertilizantes ha realizado importantes avances en la mejora tecnológica de los fertilizantes, con la finalidad de mejorar su eficiencia de uso, es decir, proveer niveles óptimos de nutrientes que satisfagan las necesidades de las plantas de cultivo.

Los esfuerzos tecnológico industriales, para aumentar la eficiencia agronómica de los fertilizantes se han centrado principalmente en el nitrógeno (N) por tres razones principales: Es el factor de manejo más importante en los rendimientos a escala global, el de menor eficiencia relativa, (entre el 30 y el 50 %) y por la necesidad de sostener el rendimiento sin poner en riesgo la calidad del ambiente.

Desde que se aplica un fertilizante nitrogenado al suelo hasta que los nutrientes sean absorbidos por el cultivo pueden darse varios eventos de naturaleza biológica y fisicoquímica que afectarán su eficiencia. Cualquier fuente mineral de nitrógeno (N) aplicada al suelo será muy probablemente oxidada a nitrato, forma como el cultivo absorberá en su mayor parte el N aplicado, independientemente de la fuente aportada. Los nutrientes aplicados están expuestos a interacciones químicas complejas y a una competencia entre la flora de microorganismos del suelo y las raíces de la planta. Los procesos biológicos como la desnitrificación y la inmovilización reducirán la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo. Así como también los procesos químicos y físicos como la fijación o lixiviación y volatilización.

Un fertilizante ideal protege los nutrientes contra estos procesos químicos y biológicos y los mantiene disponibles para el cultivo. El “fertilizante ideal” tiene las siguientes características: 1) Puede aplicarse de una única vez para todo el ciclo de cultivo, proveyendo la cantidad necesaria de nutrientes para un óptimo crecimiento. 2) Tiene la máxima recuperación porcentual del nutriente aplicado, lo que maximiza la rentabilidad por su uso, y 3) Tiene un mínimo impacto de daño ambiental, ya sea sobre el suelo, el agua y la atmósfera. Esta definición del fertilizante ideal nos obliga al empleo de una única aplicación. Sin embargo, los procesos que reducen la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo son más importantes cuanto mayor sea la duración entre la aplicación del fertilizante y la absorción del nutriente por el cultivo. Es necesario por lo tanto alguna tecnología para aumentar la eficiencia de uso del fertilizante y por lo tanto sostener la estrategia de la única aplicación.

Este concepto, utilizado para desarrollar el fertilizante más conveniente y que al mismo tiempo

proporcione la máxima eficiencia da forma a una gran cantidad de proyectos de investigación en curso, da una idea esquemática del patrón nutricional del comportamiento de un fertilizante ideal.

Una búsqueda de patentes con las palabras claves “fertilizantes de acción retardada o de liberación controlada”, ó “inhibidores de ureasa y de nitrificación”, reveló 1404 patentes industriales entre 1963 y 1999. La mayoría de éstas incluyen los fertilizantes revestidos y productos de liberación lenta con urea-formaldehído y otros productos derivados de la urea. Las tecnologías para los nuevos productos mejorados fertilizantes se enfocan en cuatro grupos; a) Fertilizantes recubiertos con polímeros, b) Fertilizantes de liberación lenta, c) Inhibidores de la nitrificación y d) Inhibidores de la ureasa.

De los 430 millones de toneladas (t) de fertilizantes consumidos en el mundo en 1999, los de liberación lenta y controlada apenas fueron 595 mil t (0,15%). Los principales mercados son EEUU (437 mil t) Europa occidental (97 mil t) y Japón (61 mil t) y usados en mercados no agrícolas. Es decir, hogares y jardines (25%), céspedes (35%) y viveros profesionales (32%) son los principales segmentos de mercado. Sólo el 8% se usa en agricultura tradicional. La razón principal de la participación tan baja de mercado de los fertilizantes especiales es su precio. Los fertilizantes mejorados, de liberación lenta o productos revestidos con polímeros son entre 4 y 12 veces más caros que los productos solubles comunes. Por esta razón, solo los cultivos de alto valor admiten su uso sin un impacto importante en el costo de producción. Es importante notar, sin embargo, que las tecnologías se abaratan con el tiempo, y estos supuestos pueden no ser relevantes para algunos cultivos en pocos años.

Para cumplir con la premisa de entregar los nutrientes a medida que el cultivo los necesita, estos fertilizantes demoran la disponibilidad de entrega de los nutrientes por medio de algún mecanismo. La definición de la AAPFCO, (Association of American Plant Food Control Officials) para “Fertilizantes de liberación lenta o controlada”: Es un fertilizante que contiene nutrientes vegetales en alguna forma tal que su disponibilidad para la absorción y uso por las plantas se demora luego de su aplicación, o que su disponibilidad para las plantas se extiende por un tiempo suficiente en comparación a los “nutrientes de rápida disponibilidad”, de otros fertilizantes tales como nitrato de amonio ó urea. Tal demora en su disponibilidad inicial, extendida en el tiempo o disponibilidad continua puede ocurrir por una variedad de mecanismos. Estos incluyen la solubilidad controlada del material en agua (por una cobertura semipermeable, oclusión, o por la inherente insolubilidad en agua de polímeros, sustancias orgánicas nitrogenadas, materiales proteicos u otras formas químicas), la lenta hidrólisis de compuestos solubles de bajo peso molecular u otros mecanismos desconocidos.

Mas en detalles, AAPFCO clasifica los nutrientes vegetales lentamente solubles como:

Insolubles en agua: naturales orgánicos, productos de urea-formaldehído IBDU (Isobutilen di Urea), materiales urea formas, oxamidas, etc. Recubiertas con azufre: En este caso el revestimiento de los gránulos de urea se realiza con azufre elemental. Ocluidos: Fertilizantes mezclados con ceras, resinas, u

otros materiales inertes. Hidrosolubles lentamente disponibles: MDU, DMTU, DCD, solución urea-triazona, etc.

Entre los más modernos denominados de liberación controlada, a diferencia de los llamados de liberación lenta, se encuentran los recubiertos con polímeros. El primer patentado (1967) fue el Osmocote®; siguiéndole varios más desde finales de los 80: Nutricote®, Meister®, Prokote®, Escote® (1985), y de los 90' en adelante: PolyOn®, Multicote®, VCote®, TR2®, ESN®, Duration®. Estos muestran menor dependencia de los factores ambientales (humedad, población microbiana, etc.) pero también son más caros.

2.3.9 Aditivos a los fertilizantes o fertilizantes estabilizados.

Estos productos, mucho más económicos y utilizados con cierta extensión entre los cultivos agrícolas de campo, son de dos clases: 1) Los inhibidores de la desnitrificación, que permiten mitigar las pérdidas por lixiviación y desnitrificación de los nitratos, y 2) Los inhibidores de ureasa, que mitigan las pérdidas por volatilización gaseosa como amoníaco al demorar la hidrólisis de la urea. El objetivo de los inhibidores de nitrificación es mantener el nitrógeno en forma amoniacal durante más largo tiempo, para controlar la lixiviación del nitrato y de tal modo aumentar la eficiencia del nitrógeno del fertilizante aplicado.

Previendo, además, las pérdidas por desnitrificación. Los inhibidores de ureasa retrasan la velocidad de conversión de la urea a amonio. Si la tasa de conversión es lenta, se reduce la volatilización del amoníaco. Los fertilizantes con inhibidores de la nitrificación o de ureasa se refieren como fertilizantes estabilizados. En contraste con los fertilizantes de liberación controlada, estos “aditivos” de los fertilizantes se utilizan casi exclusivamente en cultivos agrícolas tradicionales. Aún cuando su uso es mucho más rentable y económico para los productores, comparados a los fertilizantes de liberación controlada, su uso ha sido hasta ahora limitado a cultivos de raíces someras (poco profundas) y bajo condiciones climáticas especiales que favorecen las pérdidas por lixiviación del N del fertilizante. La sustancia denominada N- (n-butil) triamida tiofosfórica (n-BTPT) es el único inhibidor de ureasa disponible comercialmente, bajo la marca de Agrotain®; es un solvente verde claro que contiene entre 20 y 25 % de n-BTPT, y puede usarse para: Impregnar los gránulos de urea, agregarse al licor de urea durante su manufactura, o agregarse a las soluciones de UAN antes de la aplicación en el campo. Las dosis recomendadas varían entre 0,11 y 0.14 % /V/V). Este producto ya se ha ensayado con éxito en Argentina en trigo, maíz, arroz y pasturas.

Los máximos beneficios de los inhibidores de ureasa se dan cuando: 1) El potencial de rendimiento de los cultivos es alto; 2) Los niveles de N del suelo son bajos; 3) La incorporación de la urea es difícil y 4) Condiciones ambientales de suelo promuevan una extensiva volatilización. El incremento de precio de tales productos, normalmente entre un 10 y un 15 %, se compensa por ventajas adicionales y se comparan con el costo de las alternativas. Este incremento de precio resulta mucho menos costoso para la mayoría de los cultivos agrícolas que los fertilizantes de mayor eficiencia. No obstante, estos inhibidores de procesos

biológicos del ciclo del N, no han sido más adoptados por varios factores. Entre ellos se mencionan, la adopción del manejo de aplicaciones divididas, fertilizantes relativamente baratos, respuestas inconsistentes y escasa preocupación ambiental. Varias de estas consideraciones están en retroceso. En particular los altos precios de la energía que arrastran los costos de los fertilizantes. Estos incrementos, junto con una constante y progresiva preocupación ambiental, de la mano de regulaciones más severas, han revalorizado el interés por mejorar la eficiencia de uso del N. Sobre todo los esfuerzos educacionales y la presión social resultan en mayor adopción de prácticas de buen manejo como contribución a la protección del ambiente. El desarrollo y la introducción en el mercado de un producto nuevo, efectivo, de bajo precio y no tóxico es un proceso largo que requiere años de recolección de datos para su registro (Susuki, 1997)

El uso de los productos de mayor eficiencia progresará más allá de los nichos actuales de mercado solo si proporcionan soluciones más económicas y de menor impacto ambiental que las alternativas actuales. En principio es posible aplicar dos conceptos básicos para mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes: Uno es utilizar fertilizantes diferentes, como los productos mejorados; el otro concepto es utilizar los fertilizantes solubles estándares de una mejor manera. Estas opciones pueden describirse entonces como fertilizantes mejorados y como fertilización mejorada. La "estrategia del productor" es reducir el número de aplicaciones, resultando en ahorros de costos de trabajo y energía. Este objetivo describe la finalidad de los fertilizantes mejorados: Reducir las pérdidas de nutrientes que ocurren durante el largo periodo entre la aplicación y su absorción, y reducir cualquier problema de toxicidad causada por una alta dosis implícita en una única aplicación. Para reducir al mínimo las pérdidas de nutrientes y los riesgos de la toxicidad asociados a los fertilizantes solubles, la "estrategia de manejo" implica utilizar aplicaciones divididas donde sea posible.

Para reducir el número de aplicaciones de fertilizantes a una sola, el productor necesita decidir la dosis correcta del fertilizante a la siembra. Esto es un desafío importante, ya que la demanda de N cambia de año en año, y más aun de lote en lote y dentro de cada lote. La principal causa es la variabilidad espacial y temporal de la oferta de N del el suelo.

En principio la demanda del N del fertilizante depende de la demanda de N del cultivo menos la disponibilidad del N del suelo. Ambos son dependientes de las condiciones climáticas durante la estación de crecimiento. La demanda de N del cultivo puede estimarse por la expectativa de rendimiento, pero las variaciones climáticas como la temperatura y las precipitaciones, sin embargo, pueden causar desvíos significativos del crecimiento del cultivo respecto del esperado. De la misma manera, estas variaciones afectan la mineralización del N de la materia orgánica del suelo.

El aporte real de N del suelo en un período determinado del crecimiento puede ser absolutamente distinto del promedio. Por consiguiente, rendimientos similares pueden obtenerse en sitios diferentes con distintas dosis de N. Incluso en un sitio determinado la necesidad de N cambia de año en año. Por lo tanto no es una

tarea fácil determinar la dosis requerida de fertilizante nitrogenado por anticipado al momento de la siembra. Cualquier estrategia que pretenda basarse en una única aplicación tiene que asumir y manejar ese riesgo. Una sobredosis de N debido a una sobrestimación del rendimiento previsto reducirá la eficiencia del uso del N, inclusive si se han empleado productos de liberación lenta o controlada. La alternativa es la aplicación dividida de las dosis previstas de fertilizante nitrogenado. Así se reduce la duración entre la aplicación y la absorción del nutriente por el cultivo y retrasa la decisión sobre la dosis total de fertilizante a las últimas etapas del crecimiento. Puede considerarse como un manejo controlado de los fertilizantes, ya que el productor maneja la liberación de los nutrientes según la demanda del cultivo.

Los productos y las nuevas tecnologías de los fertilizantes que se discuten no son nuevos, se han desarrollado durante las décadas pasadas y están comercialmente disponibles desde muchos años. Se asume así que la cuota de mercado en los varios segmentos de los fertilizantes de mayor eficiencia disponibles refleja el equilibrio económico entre el costo y los beneficios en los segmentos de mercado relacionados

Dividir las aplicaciones de nitrógeno (N) en varias veces permite al productor reaccionar ante específicas condiciones climáticas durante el periodo vegetativo y ajustar de esa manera la dosis de N. Así, el objetivo de aplicar la dosis correcta de nutrientes es mucho más fácil de alcanzar con aplicaciones divididas que con una única fertilización. Muchos experimentos de campo han probado este concepto (Menéndez, 2006)

2.3.10 Eficiencia en el uso del fertilizante nitrogenado para la producción de grano.

Moraes (1998), definió el término eficiencia en el uso del fertilizante como kg de grano producido por kg de nutriente aplicado. La determinación del rendimiento en grano (Y) puede ser analizada como rendimiento obtenido sin fertilizante nitrogenado (Y₀) e incremento en el rendimiento obtenido por la aplicación de fertilizante ([^] Y F):

$$Y = Y_0 + \text{^ Y F} \quad Y = Y_0 + (\text{Eficiencia en el fertilizante}) \times NF$$

Donde NF es la cantidad de nitrógeno aplicado (kg/ha) y Y₀ representa los niveles de fertilidad de nitrógeno presentes en el suelo. Y₀ varía con el tipo de suelo y de acuerdo a la variedad. (Yoshida, 1981).

Para el análisis se escogió la variedad Fedearroz 50, con el propósito de calcular la eficiencia en el uso de fertilizante obtenida al implementar el plan experimental de manejo de la fertilización nitrogenada, mediante la siguiente fórmula modificada:

$$\left(\quad / \quad \right)$$

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la Estación Experimental del Arroz “Sur del Jíbaro”, ubicada en los 21° 41’ 3’’ latitud norte y los 79° 11’ 6’’ longitud oeste, con una altitud de 30.175 metros sobre el nivel del mar, durante los años 2004 al 2006, sobre un suelo Gley Vértico Típico, mayoritario en las arroceras de Cuba (Hernández et al; 1999), la descripción de sus principales características agroquímicas aparece en la Tabla 1.

pH		M. O %	mg/100g de suelo		Cationes cambiabiles (Cmol/kg ^{•1})					VT
KCl	H ₂ O		P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Ca	Mg	Na	K	
6.15	6.89	2.38	17.5	40.0	0.80	44.4	20.5	1.38	1.14	66.05

Tabla 1: Principales características agroquímicas del suelo de la ETIA.

3.1 Situación general de la eficiencia en el uso del nitrógeno.

Para evaluar la situación actual de la eficiencia en el uso del nitrógeno en el Complejo Agropecuario e Industrial “Sur del Jíbaro” (CAI), se tomaron los rendimientos agrícolas anuales y las dosis de nitrógeno aplicadas en los años del 2000 al 2005 en las áreas cosechadas, posteriormente se calculó el factor de productividad parcial del nitrógeno aplicado (FPP), como se expresa en la fórmula siguiente:

$$\text{FPP} = \frac{\text{Rendimiento (kg/ha)}}{\text{Cantidad de N aplicado (kg/ha)}}$$

3.2 Dinámica del contenido de materia orgánica del suelo.

Se realizó un muestreo en áreas de producción del Complejo Agropecuario e Industrial (CAI) “Sur del Jíbaro”, para el cual se eligieron cinco grandes grupos de áreas, tomando en consideración el tiempo en explotación de las mismas con arroz de aniego; este estudio abarcó 117.77 ha, donde se tomaron 54 muestras de suelo, compuestas por cinco submuestras cada una de ellas (localizadas por el eje central de las terrazas), hasta una profundidad de 20 cm, a las que se le determinó el porcentaje de materia orgánica en el Laboratorio Provincial de Suelo del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) en Camaguey, según la técnica analítica de Walkley y Black, descrita en MINAGRI, Norma Ramal N° 892, (1988).

La distribución del muestreo por grupos de áreas aparece en la Tabla 2.

Tabla 2: Distribución del muestreo de suelo realizado en áreas del CAI Sur del Jíbaro.

Grupos de Áreas	Área (ha)	Nº de Muestras
Suelo no cultivado con arroz en aniego (dedicado a áreas de pastoreo)	12.48	6
Suelo con tres años en explotación con arroz	18.45	8
Suelo con quince años en explotación con arroz	35.00	16
Suelo con veinticinco años en explotación con arroz	30.24	14
Suelo con treinta años en explotación con arroz	21.60	10
Total	117.77	54

3.3 Dinámica de la eficacia de la aplicación del fertilizante nitrogenado (Urea) en el Tiempo.

Se llevó a cabo una dinámica del contenido relativo de nitrógeno en las plantas de arroz a través de lecturas efectuadas con el Clorofilómetro (equipo portátil simple que mide la intensidad del verde o el contenido

relativo de clorofila en las hojas). Para la obtención de los datos se sembró una parcela de 15 m², sobre un suelo Gley Vértico Típico (Hernández et al; 1999), utilizando la variedad de arroz J – 104, a la que se le aplicó cuatro fraccionamientos de nitrógeno, según lo recomendado por el Instructivo Técnico del cultivo del Arroz (IIArroz, 2001) y se realizaron lecturas diarias a 20 plantas desde los 10 días de germinado (ddg) hasta comienzo de maduración (116 ddg), según la metodología planteada por Peng et al; (1996) y Balasubramanian et al; (1999).

3.4 Efecto del número de fraccionamientos del nitrógeno en la eficacia de este elemento sobre el rendimiento del arroz.

El trabajo se ejecutó sobre un suelo Gley Vértico Típico (Hernández et al; 1999), en parcelas de 15 m², con una densidad de 120 kg. ha⁻¹ de semilla, a chorrillo y con 15 cm de distancia entre surcos, utilizando la variedad J-104. El diseño correspondió a un Bloque al Azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Se emplearon dos dosis de nitrógeno (171 y 204 kg de N.ha⁻¹) y se estudiaron desde tres hasta seis fraccionamientos, según aparece en la Tabla 3.

Tabla 3: Descripción de los tratamientos estudiados.

Tratamientos	Dosis Kg. N.ha ⁻¹	Fraccionamiento (kg de N.ha ⁻¹)					
		1	2	3	4	5	6
1	171	57.0	57.0	57.0	–	–	–
	204	68.0	68.0	68.0	–	–	–
2	171	42.7	42.7	42.7	42.7	–	–
	204	51.0	51.0	51.0	51.0	–	–
3	171	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	–
	204	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	–
4	171	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5
	204	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0

Tanto la dosis de cada fraccionamiento como los momentos de aplicación se planificaron equitativamente, dividiendo la dosis total entre el número de fraccionamientos y dividiendo el ciclo hasta la iniciación de las espiguillas entre el número de fraccionamientos, respectivamente.

El fósforo y el potasio se aplicaron en base a 80 y 90 kg . ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O en presiembra, respectivamente.

3.5 Evaluación del comportamiento de Genotipos de arroz en relación al Factor de Productividad Parcial del Nitrógeno.

El estudio se desarrolló en las áreas de la Estación Experimental del Arroz “Sur del Jíbaro”, en un suelo Gley Vértico Típico (Hernández et al; 1999) (Tabla 1), durante los años 2004 – 2006, siempre en la campaña de seca; se sembraron un total de 209 genotipos de arroz, un promedio de alrededor de 70 genotipos por año, los cuales se fertilizaron con una dosis de 170 kg de N. ha⁻¹, en tres fraccionamientos independientemente del ciclo. El ensayo se realizó en parcelas de 9 m², con una densidad de 120 kg. ha⁻¹ de semilla, a chorrillo y con 15 cm de distancia entre surcos.

3.6 Evaluación del comportamiento de la eficiencia en el uso del nitrógeno variedades de arroz.

Con la finalidad de evaluar variedades de arroz, en su capacidad de absorber el nitrógeno del suelo y del fertilizante, se condujo un experimento bajo condiciones de riego, durante la campaña de seca 2004-2005, en la Estación Experimental del Arroz “Sur del Jíbaro”, el estudio se realizó sobre un suelo Gley Vértico Típico (Hernández et al; 1999), en parcelas de 15 m², con una densidad de 120 kg. ha⁻¹ de semilla, a chorrillo y con 15 cm de distancia entre surcos, las variedades y niveles de nitrógeno estudiados fueron:

Seca, Ciclo Corto: LP-5; IACuba-31; IACuba-36

Ciclo Medio: J-104; IACuba-32; 4544; IACuba-30; Selección II

Tradicional: Blue Bonnet; Patty Prieto

Niveles de N: 0; 60; 120; 180 y 240 kg de N. ha⁻¹.

Tabla 4: El esquema de fraccionamiento utilizado fue el siguiente:

Campaña	Fraccionamiento (% del nivel)			
	I (10-15 ddg)	II (30-35 ddg)	III (60-65 ddg)	IV (Pto Algodón)
Seca	18	30	30	22

3.7 Conducción Agronómica de los experimentos.

La preparación de suelo se realizó en seco mediante la utilización del arado de discos y gradas para los experimentos montados en la Estación Experimental del Arroz “Sur del Jíbaro”, las atenciones culturales se efectuaron de un modo similar en todos los experimentos; el manejo del agua se mantuvo a pases hasta 15 – 20 días posteriores a la germinación, cuando se estableció la lámina de agua, la que alcanzó un máximo promedio de 10 cm de altura y permaneció hasta aproximadamente los 20 días antes de efectuar

la cosecha.

Las áreas experimentales se mantuvieron libres de malezas mediante la utilización de herbicidas post – emergentes (propanil + aminol), complementado con escarde manual. La fertilización se realizó en todos los casos a voleo y los tratamientos fitosanitarios se efectuaron según lo establecido por los Instructivos Técnicos para el cultivo del arroz (IIA, 2001), cuando resultó necesario.

3.8 Evaluaciones Realizadas a los Experimentos.

3.8.1 Observaciones del Crecimiento y Desarrollo.

De forma general las mediciones se efectuaron durante el ciclo del cultivo, semanalmente a partir de los quince días de germinado el arroz.

- Medición de la longitud de las plantas.
- Medición de la coloración de las plantas (SPAD).

3.8.2. Evaluaciones realizadas en la etapa de Cosecha:

- Número de panículas por m²
- Número de granos por panícula.
- Rendimiento Agrícola.
- Cálculo de la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN). **(1)**
- Cálculo del Factor de productividad Parcial del Nitrógeno. **(2)**

(1)- Eficiencia en el uso del nitrógeno.

$$E.U.N = \frac{\text{Rend. Total} - \text{Rend. Sin N}}{\text{Cantidad de N aplicado}}$$

(2)- FPP_N = $\frac{\text{Rend. Total (kg. ha}^{-1}\text{)}}{\text{Cantidad de N Aplicado (kg)}}$.

Para el cálculo del rendimiento se cosecharon 6 m² y la producción se ajustó al 14 % de humedad.

3.9 Análisis Estadísticos.

Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente a través del Análisis de Varianza y en los casos en que existieron diferencias las medias se docimaron por la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, también se utilizaron Regresiones; todos los análisis fueron computarizados a través del paquete estadístico GenStat versión 6.2, 2002; asimismo se utilizó el modelo cuadrático para interpretar la respuesta del cultivo al fertilizante, a través de la primera derivada de la ecuación y teniendo en cuenta la relación costo/precio del fertilizante y el arroz, respectivamente (Fundora et al; 2000), así como la metodología de Cate y Nelson (1971) para correlacionar dos clases.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Situación general de la eficiencia en el uso del nitrógeno.

En la Figura 1 aparecen reflejados los valores del factor de productividad parcial del nitrógeno (FPP_N) calculados para los años del 2000 al 2005, así como la media del mismo en el CAI “Sur del Jíbaro”.



Figura 1: Comportamiento actual del factor de productividad parcial del nitrógeno aplicado en el CAI “Sur del Jíbaro”.

Como se puede apreciar, durante el periodo analizado los valores del FPP_N se mostraron generalmente inferiores al valor limite mínimo razonable planteado para variedades modernas semienanas del tipo Indica (30 kg de arroz / kg de nitrógeno aplicado más el N del suelo), por debajo del cual resulta muy difícil aumentar la productividad del cultivo hasta obtener el rendimiento potencial de variedades actuales y alcanzar una eficiencia económica adecuada.

Este comportamiento sugiere que para conseguir un aumento sustancial de la producción de arroz en las áreas del CAI “Sur del Jíbaro”, se requiere de estrategias de manejo y/o tecnologías que mejoren la eficiencia del fertilizante nitrogenado aplicado, y que permitan superar los factores actuales que en este sentido limitan el crecimiento de los rendimientos agrícolas de las variedades modernas.

4.2 Dinámica del contenido de materia orgánica del suelo.

En la Figura 2 aparece reflejada la dinámica del contenido de materia orgánica de los suelos arroceros según los años de explotación de los mismos en áreas del CAI “Sur del Jíbaro”.

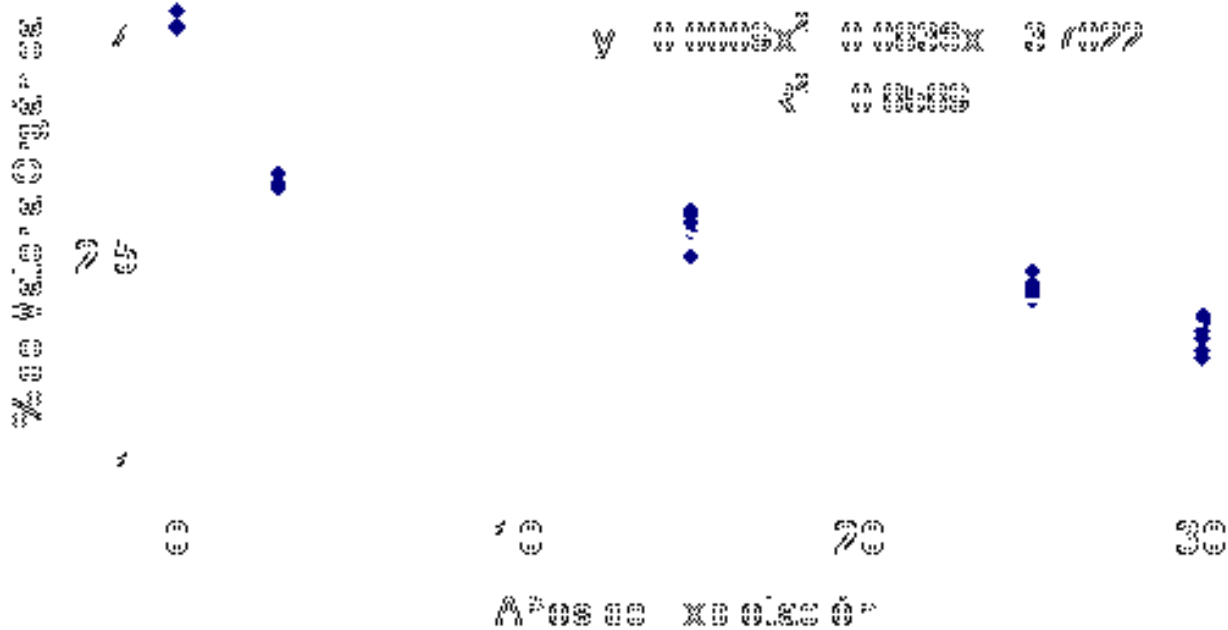


Figura 2: Dinámica del contenido de materia orgánica en suelos arroceros.

Se muestra que el suelo Gley Vértico Típico no cultivado con arroz en aniego, dedicado al pastoreo muestra un contenido de materia orgánica de 4.13%; al analizar el comportamiento general de la curva de tendencia, se observa un decrecimiento brusco en el contenido de materia orgánica del suelo una vez iniciada la explotación del mismo con arroz en aniego, presentándose una reducción del 27,2 % en los primeros tres años de cultivo, hasta alcanzar valores del 53 % cuando se ha cultivado el arroz durante 30 años de forma intensiva, sin haberse ejecutado programas de conservación y mejora de la fertilidad, cosa ésta que entre otras, contribuye directamente a una disminución de la capacidad de intercambio catiónico, lo cual conlleva a un bajo aprovechamiento del fertilizante mineral que se aplica, debiéndose señalar que la degradación de los suelos se ha convertido en una gran preocupación y la disminución del contenido de materia orgánica es uno de los factores que más contribuye al descenso de la productividad de los mismos y que además, ésta resulta en extremo importante, ya que su cantidad no es posible aumentarla rápidamente, ni con la adopción de prácticas de mejora y conservación adecuadas, pues solamente se logran aumentos significativos después de un periodo de tiempo largo, donde se incorporen los residuos de cosecha, se utilicen enmiendas orgánicas y abonos verdes, además de establecerse una estrategia de rotación de cultivo. Lickacz and Penny, (1985) en suelos inundados la materia orgánica está estrechamente relacionada con la fertilidad del mismo y el aprovechamiento del nitrógeno por la planta de arroz (Yoshida,

1981; De Datta et al;1987).

4.3 Dinámica de la eficacia de la aplicación del fertilizante nitrogenado (Urea) en el tiempo.

La dinámica de la eficacia de la urea, determinada con el clorofilómetro (SPAD) a través del contenido relativo de nitrógeno en las hojas de la planta de arroz, aparece reflejada a continuación en la Figura 3.

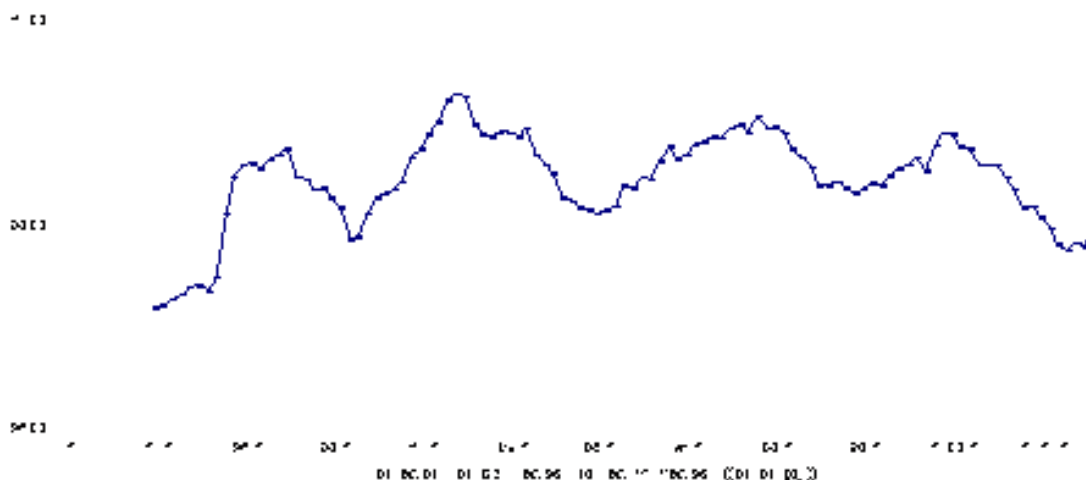


Figura 3: Dinámica de la intensidad de la coloración verde de las hojas.

Según se observa, los fraccionamientos del nitrógeno se realizaron a los 15, 30, 60 y 90 días de edad del arroz, según lo establecido en la recomendaciones técnicas (IIArroz., 2001); después de efectuado cada uno de éstos, la intensidad de la

coloración verde de las hojas se incrementó hasta alcanzar picos máximos a los 10, 14, 18 y 9 días de aplicado el fertilizante, respectivamente, posteriormente estos valores descendieron mostrando un déficit pronunciado de nitrógeno en las plantas; por otra parte, al analizar el comportamiento desde el punto de vista del valor crítico planteado por Peng et al (1996), el cual es de 35 y equivale a 1.4 – 1.5 g de nitrógeno por m² de área foliar en variedades indicas semienanas y por debajo del cual se considera existe deficiencia de este elemento, se puede apreciar que los valores de la intensidad de la coloración verde o el contenido relativo de nitrógeno fueron generalmente inferiores, con la excepción del segundo fraccionamiento, por solo cinco días, todo esto pudo estar dado por la baja eficiencia en la recuperación del nitrógeno a partir de la aplicación del fertilizante (urea) y que conlleva a una inadecuada nutrición, lo que corrobora lo expresado por David and Otsuka, (1994), respecto a la baja estabilidad del nitrógeno aplicado sobre lámina de agua, condición en la cual pueden llegar a producirse pérdidas por volatilización de hasta el 80 %.

Por otra parte, el método calendario, donde se aplican alrededor de cuatro fraccionamientos del nitrógeno no supe las necesidades nutricionales de la planta de arroz, con vistas a obtener el rendimiento potencial de las variedades modernas.

4.4 Efecto del número de fraccionamientos del nitrógeno en la eficacia de este elemento sobre el rendimiento del arroz.

Los resultados del fraccionamiento del fertilizante nitrogenado se muestran a continuación en la Figura 4.

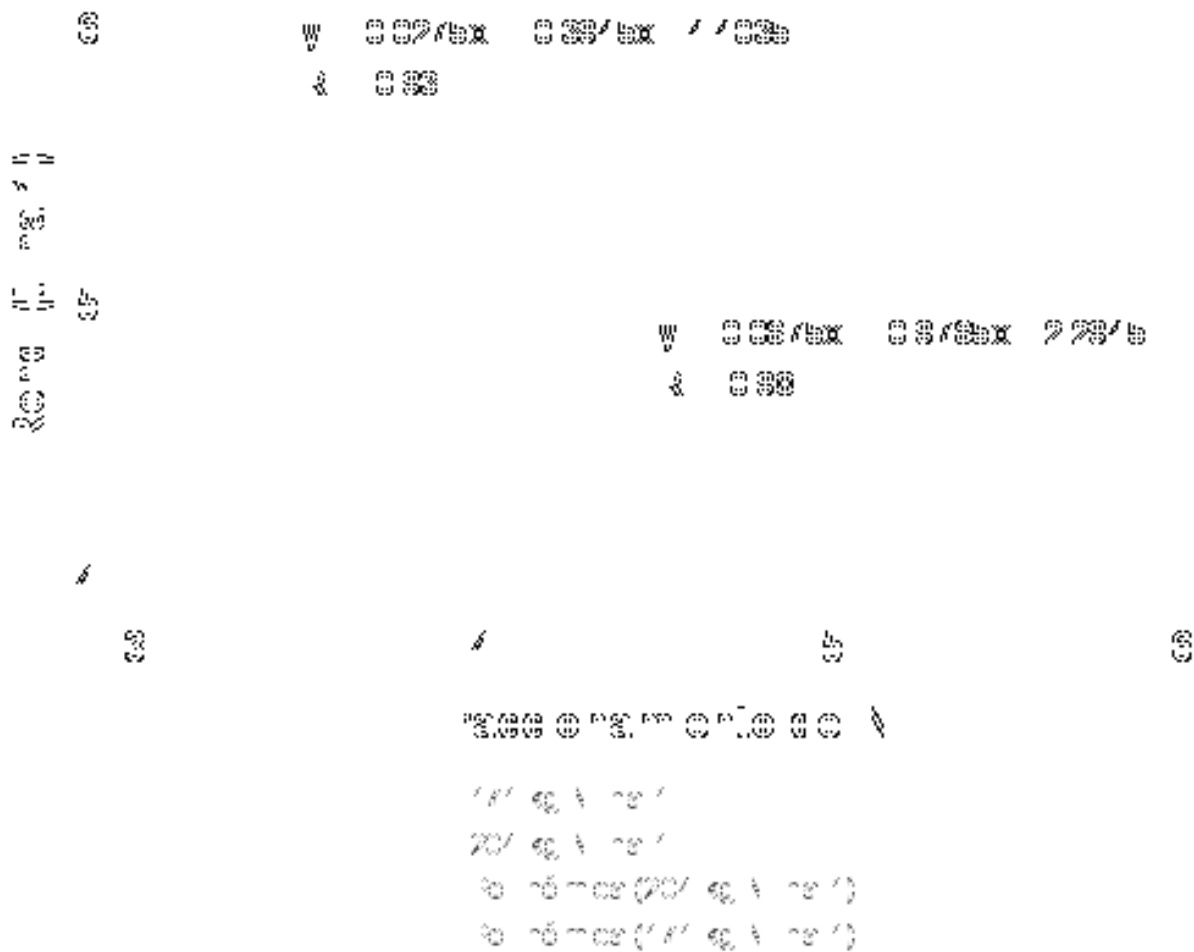


Figura 4: Respuesta del rendimiento agrícola al fraccionamiento del nitrógeno.

Se observa de manera clara como los rendimientos del arroz, ajustados matemáticamente a curvas cuadráticas con R^2 de 0.93 y 0.98, para las dosis de 204 y 170 kg de N. ha⁻¹, respectivamente, se incrementaron a medida que se aumentó el número de veces en que se fraccionó la dosis de este fertilizante. Resulta de interés aun mayor que este aumento se hizo similar para ambas dosis aplicadas en relación con los rendimientos del arroz, lo que denota la baja fertilidad existente en el suelo, cuyo análisis efectuado arrojó un porcentaje de materia orgánica catalogado de bajo (2,30 %). Singh and Bajwa, (1986), señalaron que al agregar urea al suelo ésta sufre un proceso de hidrólisis, catalizado por la enzima

ureasa presente, esta etapa aunque rápida se encuentra muy afectada por el descenso de la materia orgánica. Debido a esta situación que prevalece en gran parte de los suelos arroceros del País y fundamentalmente en el CAI “Sur del Jíbaro”, donde alrededor del 92 % de éstos ostentan la categoría de Bajo a Muy Bajo en su contenido de materia orgánica, resulta de gran importancia el suministro del fertilizante mineral nitrogenado con intervalos lo más corto posible, para contribuir a un mejor aprovechamiento de este elemento por la planta de arroz, máxime en la situación actual en que no se dispone del financiamiento suficiente para la adquisición de la cantidad requerida, aunque , es necesario la realización de los análisis económicos al respecto, dado el incremento de los costos de la aplicación.

4.5 Evaluación del comportamiento de Genotipos de arroz en relación al Factor de Productividad Parcial del Nitrógeno (FPP_N).

En la Figura 5 se puede apreciar el comportamiento de los 209 genotipos de arroz estudiados con relación al Factor de Productividad Parcial del Nitrógeno (FPP_N), los cuales fueron fertilizados con 170 kg de N. ha⁻¹.

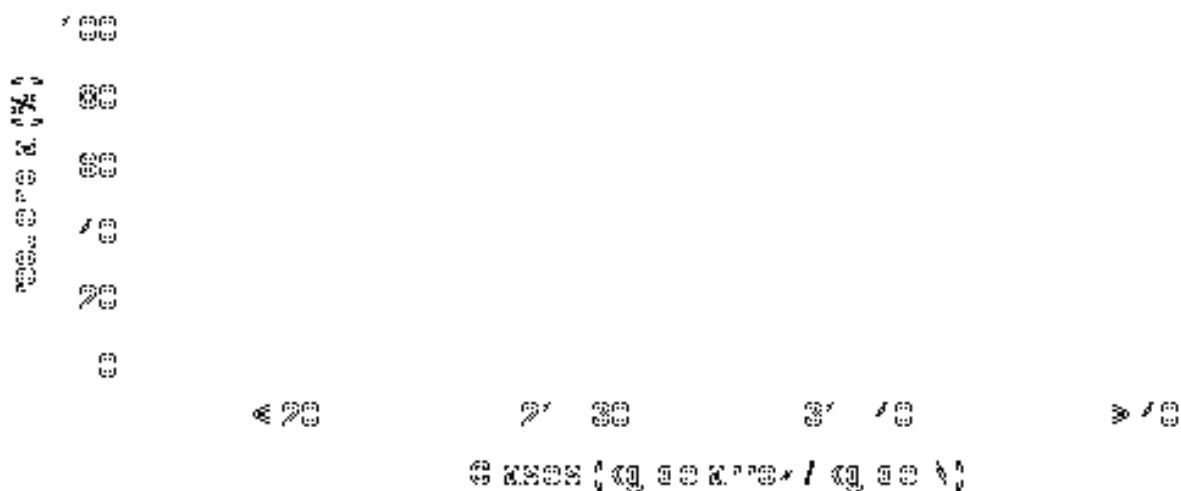


Figura 5: Comportamiento de los genotipos de arroz en relación al FPP_N.

Se observa que la mayor frecuencia (42.1 %) se encuentra en el rango de 21 a 30 kg de arroz producido por kg de fertilizante aplicado, valores por debajo del cual resulta muy complejo lograr la eficiencia económica necesaria para garantizar la sustentabilidad del cultivo; en esta clase se encuentran variedades como la IACuba-27; IACuba-29; IACuba-32; LP-9; LP-11; LP-15; SCM5-9-92; SCM5-152-2 y SCM5-69-1.

El 32.05 % de los materiales en estudio se ubicaron en el rango de 31 – 40 kg de arroz / kg de N aplicado,

considerado como admisible para nuestras condiciones edafo-climaticas, con el cual se pueden con la tecnología disponible, lograr una eficiencia económica aceptable; se hallan en esta clase las variedades: Reforma, Perla, IACuba-17, IACuba-28, IACuba-31, IACuba-34, LP-5, LP-11, LP-14 y LC-8866.

Por otra parte, el 8.61 % de los genotipos se encuentran en el rango de más de 40 kg de arroz / kg de N aplicado, considerado ya éste como óptimo para nuestras condiciones (> 40) y con el cual con los precios actuales del fertilizante y los costos de aplicación se logran las mayores eficacias económicas en el cultivo. En esta clase se observan las variedades IACuba-30, IACuba-36, LP -5, J-104, y las líneas 3764, 4499 y 6512.

El FPP_N es considerado uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta en la nutrición nitrogenada del arroz, ya que integra en el uso de la eficiencia, el nitrógeno de la naturaleza y el aplicado al suelo como fertilizante; los resultados permiten inferir que resulta de suma importancia considerar el FPP_N en programas de mejoramiento genético para el cultivo del arroz, por lo difícil que resulta lograr un aprovechamiento adecuado del nitrógeno en condiciones de suelos degradados en el trópico.

4.6 Evaluación de la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) en variedades de arroz.

La Tabla 5 se muestra un resumen del análisis factorial practicado a los datos del rendimiento agrícola.

Tabla 5: Resumen del análisis factorial.

Media general = 5.6553	Variación	Significación
CV (%)= 4.51		
EsX (Variedad) = 0.0659	Variedad (A)	***
EsX (Nivel) = 0.0466	Nivel de N (B)	***
	A x B	***

De forma general se muestran diferencias altamente significativas entre variedades, entre los niveles de nitrógeno y también en la interacción variedad – nivel de nitrógeno, todo lo cual nos muestra la complejidad de la problemática y nos sugiere la necesidad de reconocer el potencial de alto rendimiento como característica cada vez más importante, en el cual el manejo adecuado de la fertilización nitrogenada y la introducción de variedades con una mayor eficiencia en la recuperación del nitrógeno, así como la introducción de métodos mejorados de colocación y conservación del nitrógeno en el suelo y la utilización de instrumentos de diagnóstico apropiados, son aspectos importantes de la mejora de las técnicas de cultivo para aumentar la productividad en el arroz en aniego.

En la Tabla 6 se muestra la respuesta del rendimiento agrícola de las 10 variedades en estudio en relación a diferentes niveles de fertilización nitrogenada.

Tabla 6: Efecto de los diferentes niveles de nitrógeno sobre el rendimiento agrícola en 10 variedades de arroz.

N (kg. ha⁻¹)	LP-5	IAC-31	IAC-36	J-104	IAC-32	IAC-30	F-50	4544	B. B	P. P
0	3.09 d	2.74 e	3.37 d	3.39 d	3.45 d	3.39 d	3.14 d	3.48 d	2.32 e	2.74 d
60	5.04 c	5.1 d	5.36 c	4.19 c	4.8 c	5.08 c	5.18 c	4.79 c	3.13 d	3.24 c
120	7.12ab	7.14 b	7.84 a	7.56 b	7.83 ab	7.8 a	7.96 a	7.28 b	5.18 a	5.39 a
180	7.72 a	7.68 a	7.45 a	8.3 a	8.09 a	7.35 b	7.32 b	7.83 a	4.63 b	4.25 b
240	6.89 b	6.76 b	6.39 b	7.48 b	7.59 b	7.27 b	7.21 b	7.55ab	4.11 c	3.49 c
Esx	0.2107	0.079	0.1351	0.1874	0.1430	0.1319	0.0826	0.1143	0.1552	0.1473
CV(%)	6.11	2.93	3.90	5.30	3.89	3.69	2.32	3.20	6.93	6.67

Se puede observar claramente que de forma general las variedades presentan un comportamiento heterogéneo. Los mejores resultados lo alcanzaron las variedades FEDEARROZ-50, IACuba-36 IACuba-32, IACuba-30 y la LP-5, alcanzaron rendimientos estadísticamente superiores con la dosis de 120 kg de N. ha⁻¹ y valores que oscilaron entre 7.96 y 7.12 t. ha⁻¹, para las variedades FEDEARROZ-50 y LP-5, respectivamente, del mismo modo, se observa que variedades como J-104; IACuba-31 y la línea 4544 mostraron su máximo rendimiento significativo con el nivel de 180 kg de N. ha⁻¹, con valores que oscilaron entre 8.30 y 7.68 t. ha⁻¹, para las variedades J-104 y IACuba-31, respectivamente; las variedades tradicionales mostraron rendimientos agrícolas inferiores al resto de las utilizadas en el ensayo.

Por otro lado, no se encontró una tendencia definida entre el comportamiento de las variedades de ciclo corto y ciclo medio, lo cual alude a que este comportamiento en el rendimiento se relaciona más con el propósito para el que fue obtenida la variedad que con el ciclo de la misma.

En la Tabla 7 se muestra el resultado del Análisis de Regresión realizado, a las 10 variedades en estudio, los cuales muestran coeficientes de ajustes (R^2) entre 0.89 y 0.98.

Tabla 7: Comportamiento de la EUN en variedades de arroz.

Variedad	Ecuación	R²	Dosis Mayor EUN	EUN Alcanzada
Patty Prieto	$y = -0.3603 + 0.2659X - 0.001069X^2$	0.89	124.4	16.17

Blue Bonnet	$y=0.1243+0.30669X-0.001177X^2$	0.95	130.3	20.10
4544	$y= 0.47378+0.42547X-0.001514X^2$	0.98	140.5	30.36
J-104	$y = -1.986+0.420X-0.001508X^2$	0.95	139.2	31.23
IAC-32	$y=0.2409+0.4792X-0.001731X^2$	0.98	138.4	33.40
IAC-30	$y= 1.2374+0.49446X-0.001861X^2$	0.95	132.8	34.08
LP-5	$y =1.6401+0.5138X-0.001956X^2$	0.96	131.3	35.33
FEDEARROZ 50	$y=1.8222+0.55548X-0.0021286X^2$	0.94	130.5	38.06
IAC-31	$y =2.3793+0.5741X-0.002209X^2$	0.93	129.9	39.68
IAC-36	$y =4.618+0.5899X-0.002365X^2$	0.91	124.7	41.40

Las variedades fueron ordenadas en orden ascendente según la mayor Eficiencia en el uso del nitrógeno alcanzada a través de la primera derivada de la ecuación cuadrática (Fundora et al. 2000), las mismas obtuvieron diferentes patrones de aprovechamiento del nitrógeno, las variedades tradicionales Patty Prieto y Blue Bonnet, mostraron las más bajas EUN con valores de 16.17 y 20.10 kg de nitrógeno de arroz producidos por kg de nitrógeno aplicado como fertilizante, respectivamente; del mismo modo el análisis refleja que las variedades de ciclo corto presentaron un mejor uso del nitrógeno en la producción de granos, con eficiencias de uso del fertilizante desde 35.33 kg de arroz producido por kg de nitrógeno para la variedad LP-5 hasta 41.40 kg de arroz por kg de nitrógeno aplicado para la IACuba-36; las variedades de ciclo medio mostraron un comportamiento intermedio, a excepción de la FEDEARROZ 50 que superó la media de las mismas.

Por otra parte, el procedimiento estadístico realizado con el objetivo de formar dos grupos de variedades, donde se agrupan, en uno las de mayor y en otro

las de menor recuperación del nitrógeno aplicado como fertilizante se muestra en la Figura 6.

Media P1= 26.35

Media P2= 37.71

R²= 0.55

Nivel divisorio = 33.74

Figura 6: Análisis del comportamiento de las variedades en correspondencia con la EUN.

La comparación arrojó como resultado que el nivel que divide los dos grupos fue de 33.74, mientras que los mejores usos se obtuvieron en orden ascendente con las variedades IACuba-30, LP-5, FEDEARROZ 50, IACuba-31 y IACuba-36, con valores de eficiencia en el uso del nitrógeno que oscilaron de 34.08 hasta 41.4 kg de arroz producido por kg de nitrógeno aplicado, mientras que variedades como la IACuba-32, J-104 y la línea 4544 se mostraron inferiores en la recuperación del nitrógeno; las variedades tradicionales Blue Bonnet y Patty Prieto alcanzaron las más bajas eficiencias en el uso del nitrógeno con valores de 20.1 y 16.17 kg de arroz producido por kg de nitrógeno aplicado al suelo, respectivamente; esta observación confirma que las variedades modernas son superiores a las tradicionales, aun en ausencia del fertilizante (Berrio et al; 2002).

Por otra parte, en la producción de arroz existe un número creciente de preocupaciones ambientales entre las cuales se incluye la utilización ineficiente de fertilizantes, fundamentalmente los nitrogenados, al debatirse el hecho, de que sus aplicaciones deben tener límites precisos en término de respuesta del cultivo, ya que la planta absorbe solo una parte del fertilizante aplicado y el resto se pierde por diferentes causas, asociándolo con los efectos negativos de la presencia de compuestos de nitrógeno sobre la contaminación ambiental, por tanto, la atención que se presta actualmente a la protección del agroecosistema, debe encauzarse también hacia la adopción de medidas para el empleo racional de los fertilizantes químicos (Meneses y Díaz, 2004). Del mismo modo, se debe destacar las ventajas económicas que pueden resultar del desarrollo de variedades con alto potencial de rendimiento y utilización más eficiente del nitrógeno del suelo, lo cual sería muy conveniente para muchos productores, los que debido al alto costo de adquisición y aplicación de los fertilizantes nitrogenados, se ven imposibilitados de emplear las grandes cantidades que requieren sus áreas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

Sobre la base de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos experimentales realizados, consideramos que pueden hacerse las siguientes conclusiones:

- ◆ Los valores del factor productividad parcial del nitrógeno en el CAI Sur del Jíbaro, se muestran inferiores al valor límite aceptado para variedades modernas semienanas del tipo índica.
- ◆ El aprovechamiento de la urea en suelos degradados es bajo.
- ◆ El incremento del número de fraccionamientos del nitrógeno reflejó la pobreza nutrimental de los suelos arroceros sometidos a monocultivo prolongado.
- ◆ La evaluación de la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno en variedades de arroz mostró la necesidad de reconocer el manejo adecuado de la fertilización y la mejora varietal de la EUN como características de potencial de alto rendimiento.
- ◆ Solo el 40.66 % de los genotipos estudiados mostraron valores del Factor de Productividad Parcial del Nitrógeno superiores al valor límite (30), por debajo del cual resulta muy difícil conseguir la sustentabilidad del cultivo.
- ◆ El mejor aprovechamiento del nitrógeno se obtuvo en orden ascendente con las variedades IACuba-30, LP-5, FEDEARROZ 50, IACuba-31 y IACuba-36, con valores de eficiencia en el uso del nitrógeno que oscilaron de 34.08 hasta 41.4 kg de arroz producido por kg de nitrógeno aplicado.

5.2 RECOMENDACIONES

Tomando en consideración las conclusiones antes expuestas, se estima oportuno emitir las recomendaciones siguientes.

- ◆ Promover, para arroz de aniego, las variedades que muestren alto potencial de rendimiento y una utilización más eficiente del fertilizante nitrogenado.
- ◆ Capacitar a los productores sobre tecnologías que le permitan ser capaces de abordar el

imprescindible recto actual de conservar y sobre todo aumentar la fertilidad de los suelos, mediante la utilización de abonos verdes, mejores barbechos, un uso apropiado de insumos orgánicos e inorgánicos y un adecuado manejo agrotécnico en general .

- ◆ Extender las variedades IACuba-30, LP-5, FEDEARROZ 50, IACuba-31 y IACuba-36.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilar, M. y Espinosa, M. 2003. Respuesta del arroz a diversas dosis de abonado nitrogenado en las Marismas del Guadalquivir. Departamento de Mejora y Agronomía. Arroz y Maíz. Centro de Investigación y Formación Agraria “Las Torres y Tomejil”. Ctra. Sevilla-Cazalla. Diponible en:<http://www.agroinformacion.com>.
- Balasubramanian, V.; A. C. Morales; R. T. Cruz and S. Abdulrachman. 1999. On – farm adaptation of Knowledge – intensive nitrogen management technologies for rice systems. *Notr. Cycl. Agroecosyst.* 53: 59 – 69.
- Berrio, L. E.; L. R. Sanint; F. Correa y E. Tulande. 2002. Respuesta al uso de nitrógeno en variedades de arroz sembrados en Colombia. Foro Arroceros Latinoamericano. Cali, Colombia. 8 (2): 22 – 23.

- Broadbent, F. E. and A. B. Carlton. 1978. Field Trials with isotopically labeled nitrogen fertilizer. en: D. R. Nielsen; J. G. Mc Donald, eds. Nitrogen in the environment. New York. Ed. Academic Press. Vol. I, pp. 1 – 44.
- Cate, R. B. y Nelson, C. A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. SSA Am. Proceedings (35) 658-660.
- Chung, S.; Sung, J.; Sudduth, K.; Drummond, S. and Hyun, B. 2000. Spatial variability of yield chlorophyll content and soil properties in a Korean rice paddy field. National Agricultural Mechanization Research Institute Korea. 13 p.
- Crutzen, P.J. 1983. Atmospheric interaction – Homogeneous gas reaction of C, N and S containing compounds. en: B. Bolin; R. B. Cook, eds. The major biogeochemical cycles and their interaction. John Wiley and Sons, Inc. vol. XXI. Pp. 67 – 114.
- David, C.C and K. Otsuka. 1994: Modern Rice Technology and Income Distribution in Asia. Lynne Rienner Publishers, Colorado. United States of America. 475 p
- De Datta, S. K. 1981. Principles and Practices of Rice Production. International Rice Research Institute. (IRRI). Los Baños. Philippines. 618 p.
- Datta, S.K.; W. N. Obcemea; R.Y. Chen; J.C. Calabio and R.C. Aevancelista. 1987. Effect of water depth on nitrogen use efficiency and nitrogen 15 balance in lowland rice. Agron. J. 79:210216.
- Elliott, E. T. and D. C. Coleman. 1988. Let the Soil work for us. Ecological Bulletins. 39: 23 – 32.
- Fairhurst, T.H and A. Dobermann. 2002: Rice in the global food supply. Rice production, Special Supplement Publication. Better Crops. Saskatchewan, Canada . Vol 16. No 1. p 3-6.
- FEDEARROZ (Federación Nacional del Arroz); 2000: Manejo y Conservación de Suelos para la Producción de Arroz en Colombia. Santafé de Bogotá.D.C, Colombia. 78 p.
- Fundora, O.; N. Arzola y J. Machado. 2000. Fertilidad del Suelo y Fertilización, Universidad Central de Las Villas, Cuba (Soporte Magnético).
- Golchin, A.; J. M. Oades; J. O. Skjemstad and P. Clarke. 1994. Soil structure and carbon cycling. Aust. J. Soil Res. 32: 1043 – 1068.
- Guerrero Riascos, R; 1995: Fundamentos Técnicos para la Fertilización de Cultivos. Fertilización de cultivos de clima medio. Monómeros Colombo-Venezolanos. Segunda Edición. Barranquilla. Colombia . p. 27-45.
- Hassink, J. 1994. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and mineralization. Soil Biol. Biochem. 26: 1221 – 1231.
- Hernández, A.; J. M. Pérez; D. Bosch; L. Rivero; E. Camacho; J. Ruiz; E. Jaime; R. Marsán; A. Obregón; J. M. Torres; J. E. González; R. Orellana; J. Paneque; A. Mesa; E. Fuentes; J. L.

Durán; J. Pena; G. Cid; D. Ponce; M. Hernández; E. Frómeta; L. Fernández; N. Garcés; M. Morales; E. Suárez; E. Martínez y J. M. Ruiz. 1999. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Instituto de Suelo. Ministerio de la Agricultura. Ciudad de la Habana. Cuba. 64 p.

- I.I.Arroz. Instituto de Investigaciones del Arroz. 2001. Instructivos Técnicos del Cultivo del Arroz. MINAG. Cuba.
- Jansson, S. L. and Persson, J. 1982. Mineralization and inmovilization of nitrogen. en: F.J. Stevenson, ed. Nitrogen in Agricultural Soils. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy. pp. 229 – 252.
- Jaramillo, S.; Pulver, E.; Duque, M. 2003. Efecto del manejo de la fertilización nitrogenada en arroz de riego, sobre la expresión del potencial de rendimiento en líneas elites y cultivares comerciales (en línea). Consultado 12 Noviembre 2004.. Disponible en: www.blanquita.com/articulos/articulo4html.
- Keeney, D. R. 1982. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. en: F. J. Stevenson, ed. Nitrogen in Agricultural Soils. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy. pp. 605 – 649.
- Legg, J. O. and J.J. Meisinger. 1982. Soil nitrogen budgets. en: F. J. Stevenson, ed. Nitrogen in Agricultural Soils. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy.. 503 – 566 pp.
- Leinweber, P. and G. Reuter. 1992. The influence of different fertilization practices on concentrations of organic carbon and total nitrogen in particle – size fractions during 34 years of soil formation experiment in loamy marl. *Biology and Fertility of soils*. 13: 119 – 124.
- Lickacz, J. and D. Penny, 1985. Soil Organic Matter. University of Maine Cooperative Extension. Bulletin N° 2288. (en línea) Julio 1985. Disponible en: <http://www.vnext.maine.edu/onlinepubs/htmlpubs/2288.htm>. (Consulta, febrero 25, 2003).
- Lihong, X.; Weixing, C.; Weihong, L. ; Thigbo, D. and Yan, Z. 2004.
- Menendez, F. 2006. Nuevos productos fertilizantes (en línea) Disponible en: <http://www.agrositio.com>. Consulta noviembre 2006.
- Meneses, P. y A. Díaz. 2004. Eficacia de la Fertilización Nitrogenada con Sulfato de Amonio y la utilización de Fertilizantes de Liberación Lenta, sobre el Desarrollo y Rendimiento del Cultivo del Arroz en Aniego. Informe de Experimentos. Curso de Capacitación Especial para Cuba sobre Técnicas de Cultivo de Arroz en Pequeña Escala. Tsukuba International Centre. Japan International Cooperation Agency (JICA). p 11-23.
- Meneses, P. 2005. Alternativa de Manejo y Tecnología Para el mejoramiento de la eficiencia en la Fertilización Nitrogenada en el Cultivo del Arroz en Aniego. Tesis de Maestría. Universidad

de Ciego de Ávila. Cuba. 78 p.

- Molina, E. 2003. Características y manejo de fertilizantes que contienen nitrógeno, fósforo y potasio. In: Meléndez, G.; Molina, E. eds. Fertilizantes: Características y manejo. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica, San José p. 37-57 .
- Moraes, J. F. 1998: Aduacao, Calagem, Disponibilidad de nutrientes e Producao de Arroz e Feijao em Solos Nivelado. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. Vol. 33(9) p. 1443-1449.
- Munevar, M. F. 1995. Conceptos sobre la materia orgánica y el nitrógeno del suelo relacionado con la interpretación del análisis químico. En: Fundamentos para la interpretación del análisis del suelo, planta y agua para el riego. Francisco Silva M., ed. 2^{do} ed. Santa Fe de Bogotá. S.C.C.S. 227 – 243 pp.
- Newbould, P. 1989. The use of nitrogen fertilizer in agriculture where do we go practically and ecologically?. Plant and Soil, 115: 297 – 331.
- MINAGRI, Norma Ramal N° 892. 1988. Suelo. Análisis Químico. Determinación de los contenidos de fósforo y nitrógeno total; % de materia orgánica y % de humus. Ministerio de la Agricultura. Ciudad de la Habana. Cuba. Pag. 15-27.
- Novoa, R. y Villagrán, N. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de la clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. Agricultura Técnica (Chile) 62 (1): 1-7.
- Oertli, J. J. 1980. Controled – release fertiliszers. Fertilizer Research, I: 103 – 123.
- Osada, A. 1995: Photosynthesis and respiration in relation to nitrogen responsiveness. Science of rice plant. Vol II. Physiology. Food and Agriculture Policy Research Center. Tokio.696-703 p
- Peng, S.; F. V. García; R. C. Lazo; A. L. Sanico; R. M. Visperas and K. G. Cassman. 1996. Increase N – use efficiency using a Chlorophyll meter on high – yielding irrigated rice. Field. Crops. Res. 47: 243 – 252.
- Quirós, R. y Ramirez, C. 2006. Evaluación de la Fertilización nitrogenada en arroz inundado. Agronomía Mesoamericana. 17(2) : 179-188.
- Ramirez, C. 2001. Nutrición nitrogenada. In: Villalobos E. ed. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. EUCR. Universidad de Costa Rica, San José. p 203-224.
- Ramos, C.; R. Domingo and J. Oliver. 1989. Nitrate leaching under two nitrogen fertilization managements. en: J.C. German. ed. Management Systems to reduce impact of nitrate. London. Elsevier Applied Science. 99-109 pp.
- Rico, G. and S. K. Datta. 1982 a. Diferencia varietal del arroz en la utilización del nitrógeno del suelo bajo condiciones de riego usando N¹⁵ Depled. Centro de Investigaciones Agropecuarias Región Llanos Centrales. Venezuela. Rev. Agronomía Tropical. 32 (1 – 6): 171 – 185.

- Rico, G. and S. K. de Datta. 1982 b. Efecto de fuentes, métodos y época de aplicación del nitrógeno sobre el rendimiento del arroz bajo condiciones de riego. Centro de Investigaciones Agropecuario Región llanos Centrales. Venezuela. Rev. Agronomía Tropical. 32 (1 – 6): 227 – 237.
- Robertson, L.A. and J. G. Kvenen. 1984. Aerobic denitrification – old wine in new boltees?. *Antonic van Leeuwenhoek*, 50: 525 -544.
- Rozman, C. and E. Montserrat. 1989. Hematología. en P. Farreras Valenti et. al. *Medicina Interna*. 11^a ed., Barcelona, ed. Doyma. Vol. II. pp. 1459-1625.
- Ryden, J.C. 1983. Denitrification losses from a grassland soil in the field receiving different rates of nitrogen as ammonium nitrate. *Journal of Soil Science*, 34: 355-365.
- Ryden, J.C. 1984. Fertilizers for grassland. *Chemistry and Industry*, 17, September 1984.
- Sader, R.; P.A.C. Pedroso; L.C. Epifania; E. A. Gavioli and D. Mattos Junior. 1990: Efeitos da Adubacao Nitrogenada nos Teores de Clorofila, Producao e Qualidade de Sementes de Arroz (*Oryza sativa*.L). *Cientifica*, Sao Paulo, Vol 18 (2), p.63-69.
- Sheldrick, W.F. 1987. World Nitrogen Survey. *Industry and Finance Series*, vol. XX. Washington, D.C. World Bank Technical Paper, N_o 59. 227 pag.
- Singh, B. and M. S. Bajwa. 1986. Studies on urea hydrolysis in salt affected soil. *Fertilizer Research*, 8: 231 – 240.
- Singh, B.; Singh, Y.; Ladha, J.; Bronson, K.; Balasubramanian, V.; Singh, J. and Khind, C. 2002. Chlorophyll meter and leaf color chart based nitrogen management for rice and wheat in northwestern India. *Agronomy Journal* 94: 821-829.
- Skjemstad, J. O.; L. J. Janik; M. J. Head and S. G. McClure. 1993. High energy ultraviolet photo – oxidation: a novel technique for studing physically protected organic matter in clay and silt – sized aggregates. *J. of Soil Sci.* 44: 485 – 499.
- Sowers K.E; W. L. Pan W; B.C. Miller and J. L. Smith. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agron. J.*;86:942-948.
- Stevenson, F. J. 1986. The Nitrogen cycle in soil: Global and ecological aspects. en: *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. New York. John Wiley and Sons. Inc. pp. 106-154.
- Susuki, A. 1997. Fertilization of Rice in Japan. *Japan FAO Association*. Tokio
- Tinarelli, A. 1989. *El Arroz*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Editorial Mundi-prensa. Madrid. 575p.
- UCAIA. 2001. Unión de Complejos Agro Industriales del Arroz. Programa Arrocerero. MINAG. 97 pp.

- Van Veen, J. A. and P. J. Kuikman. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro – organisms. *Biogeochemistry* 11: 213 – 233.
- Villar, D. y Ortega, R. 2002. Medidor de clorofila, bases teóricas y su aplicación para la fertilización nitrogenada en cultivos. *Agronomía y Forestal UC. Centro de Agricultura de Presición de la Pontifica Universidad Catolica de Chila.* 8p.
- Wilson, C.; N. Slaton; R. Norman and D. Miller. 1998. Efficient Use of fertilizer. *Rice Production Hand Book. University of Arkansas, Division of Agriculture, Cooperative Extension Service. Little Rock. Arkansas. U.S.A.* 51-72 p.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science. International Research Institute, Philippines.* 269 pp.

