AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT
WASHINGTON, D. C. 20523

BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET

FOR AID USE ONLY

1. SUBJECT CLASSIFICATION

A. PRIMARY: Agriculture — AF25-0000-GG50

B. SECONDARY: Soil fertility,fertilizers,and plant nutrition--Tropics

2. TITLE AND SUBTITLE

Nitrogen fertilization and managemenc in tropical rice

3. AUTHOR(S)

Sanchez,P.A.

4. DOCUMENT DATE	5. NUMBER OF PAGES	6. ARC NUMBER
1972	77p.	ARC 633.18.S211

7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS

N.C.State

8. SUPPLEMENTARY NOTES *(Sponsoring Organization, Publishers, Availability)*

(English and Spanish)
(In N.C.Agr.Exp.Station technical bul.no.213; and Suelos ecuatoriales,v.4,no.1, p.197-240)

9. ABSTRACT

10. CONTROL NUMBER

PN-RAA- 309

11. PRICE OF DOCUMENT

12. DESCRIPTORS

Nitrogen
Rice
Tropics

13. PROJECT NUMBER

14. CONTRACT NUMBER

CSD-2806 Res.

15. TYPE OF DOCUMENT

AID 590-1 (4-74)

November, 1972 Tech. Bul. No. 213

Nitrogen Fertilization and Management In Tropical Rice

Pedro A. Sanchez

Assistant Professor of Soil Science,
N. C. State University at Raleigh

North Carolina Agricultural Experiment Station

CONTENTS

INTRODUCTION 3
NITROGEN DYNAMICS IN RICE SOILS 3
Effects of constant flooding 3
Effects of intermittent flooding 5
Effects of puddling 7
NITROGEN RESPONSE AND FACTORS AFFECTING IT 8
Orders of magnitude 8
Plant type 9
Solar radiation 13
Growth duration and temperature 14
Water management 15
Cultural practices 18
Soil properties 18
Formulating nitrogen recommendations to farmers 19
FACTORS WHICH AFFECT THE EFFICIENCY OF NITROGEN USE 20
Nitrogen sources for constant flooding 20
Nitrogen sources for intermittent flooding 21
Methods of nitrogen placement 22
Timing of nitrogen application under constant flooding 24
Timing of nitrogen application under intermittent flooding 24
Recovery of applied nitrogen 26
SUMMARY AND CONCLUSIONS 27
REFERENCES 28

NITROGEN FERTILIZATION AND MANAGEMENT IN TROPICAL RICE [1]

INTRODUCTION

Rice is the most important food crop produced in the tropics. It accounts for the bulk of the caloric intake of the Asian people and for a large portion of the diets in tropical America and Africa. Rice is the only important food crop capable of growing in flooded soils because of its ability to oxidize its rhizosphere. Flooding brings about a series of physical, chemical and biological changes which result in a number of soil-plant relationships completely different from those taking place in other crops. Rice responds almost universally to nitrogen fertilization and with less frequency to other elements. The magnitude of these responses is of great practical importance. The purpose of this bulletin is to summarize the present knowledge about the theory and practice of nitrogen fertilization in rice in relation to prevailing water management and cultural practices common in Tropical Latin America.

NITROGEN DYNAMICS IN RICE SOILS

Nitrogen reactions are markedly affected by the oxidation-reduction status of the soil, which depends to a large extent on water management and soil physical conditions.

Effects of constant flooding

When a dry soil is suddenly and thoroughly flooded, the structural aggregates become saturated with water and the pressures generated by air entrapped in soil pores cause many soil aggregates to crumble (Yoder, 1936). The magnitude of this phenomenon depends upon the soil's aggregate stability and the speed and thoroughness of the wetting operation. Soil pores remain saturated with water and 2:1 type clays expand. Percolation through the soil decreases, reaching levels of 20 to 33 percent of the original in rice fields cultivated for several years (Mikklesen and Patrick, 1968).

The availability of oxygen decreases to zero in less than a day after flooding. The rate of diffusion of atmospheric oxygen through water is 10,000 times slower than in the absence of water. Aerobic microorganisms rapidly consume the remaining oxygen, become latent or die. Anaerobic microorganisms multiply rapidly and take over the decomposition of soil organic matter using, instead of oxygen, oxidized soil components as electron acceptors. These products are reduced in the following thermodynamic sequence: nitrates, manganic oxides, ferric oxides and

---

[1]Paper presented at the Second Soils Colloquium on Nitrogen Use in the Tropics, sponsored by the Colombian Society of Soil Science, Palmira, Colombia, August 31, 1971. The preparation of this report was supported by funds from the U. S. Agency for International Development, Contract AID/csd 2806.

hydroxides, several intermediate products of organic matter decomposition, sulphates, CO_2, and possibly phosphate (Ponnamperuma, 1965). The reduction process is intensified by the presence of easily decomposable organic matter, the substrate of the microorganisms, and high soil temperatures. Oxidation-reduction potentials drop sharply in two to four weeks after flooding and then decrease gradually (Ponnamperuma, 1965).

The process of soil reduction induces a series of chemical changes. Whatever the original soil pH, flooded soils reach and maintain an equilibrium pH value between 6.5 and 7.0 within approximately three weeks after flooding (Fig. 1). The pH increases in acid soils due to the reduction of ferric hyroxides and manganic oxides into ferrous and manganous forms, releasing OH^- ions. The pH decreases in alkaline soils due to increases in the partial pressure of CO_2.

The nitrates present in the soil are reduced to N_2 and N_2O gases which escape to the atmosphere. The mineralization of organic nitrogen stops at the ammonification stage. The NH_4^+ ion is stable under reduced conditions and tends to accumulate in flooded soils (Fig. 2). The concentration of other elements such as P, Fe and Mn in the soil solution increases with flooding, reaches maximum values during the first month or so and then gradually decreases. Although these changes are in general beneficial to the rice plant, excessive production of Fe^{++}, Mn^{++} and certain organic acids may reach toxic levels. High concentrations of these cations release non-reducible exchangeable cations such as K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, and Na^+ into the soil solution. The conductivity in non-saline soils increases to values of 2 to 4 mmho/cm. The partial pressure

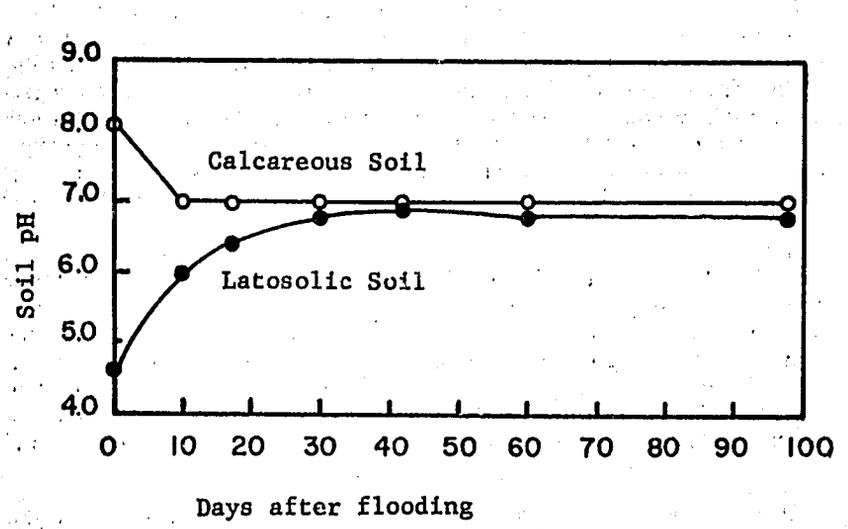


Fig. 1. pH changes in two soils under constant flooding (Sanchez and Delgado, 1969).

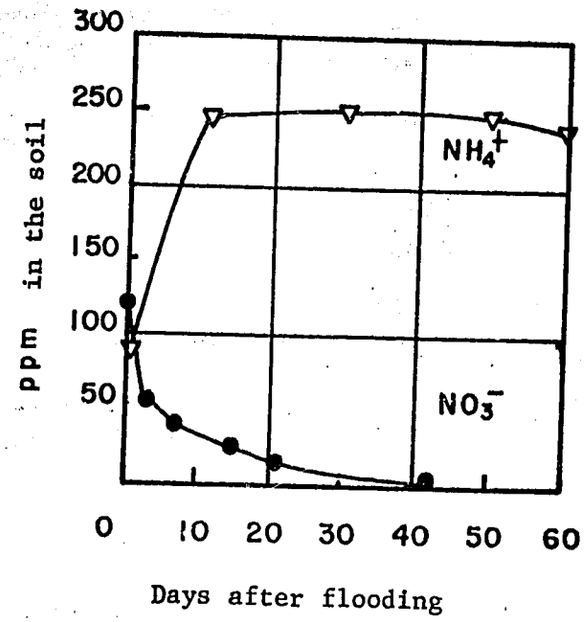


Fig. 2. Constant flooding effects on the concentration of ammonium and nitrate ions (Sanchez and Delgado, 1969).

of CO_2 also increases, reaches levels of 0.2 to 0.8 atmospheres in two to four weeks after flooding and decreases gradually. These generalizations have been taken from a summary by Sanchez (1968). Ponnamperuma (1955, 1965), Redman and Patrick (1965), and Mikklesen and Evatt (1966) discuss the effects of soil reduction in more detail.

The profile of a flooded soil is not completely reduced. Several oxidized zones exist in which the above described processes do not occur (Fig. 3). A superficial layer less than 1 cm deep, remains oxidized since it is in equilibrium with the oxygen dissolved in the water layer. The rest of the plowed layer is reduced except for the rhizosphere of active rice roots which is oxidized. This can be visually recognized by the presence of yellowish red root coatings caused by precipitation of ferric components. The subsoil may be reduced but with less intensity than the above layer, due to lower organic matter contents. It can be oxidized when the plowed layer is puddled and the water table is deep. Fig. 3 shows the need to use ammoniacal sources of nitrogen incorporated in the reduced layer since the application of nitrates or ammonium to the superficial oxidized layer may cause serious denitrification losses.

Effects of intermittent flooding

The majority of tropical rice soils undergo alternate oxidation and reduction caused by flooding and drying periods because of a poor dis-

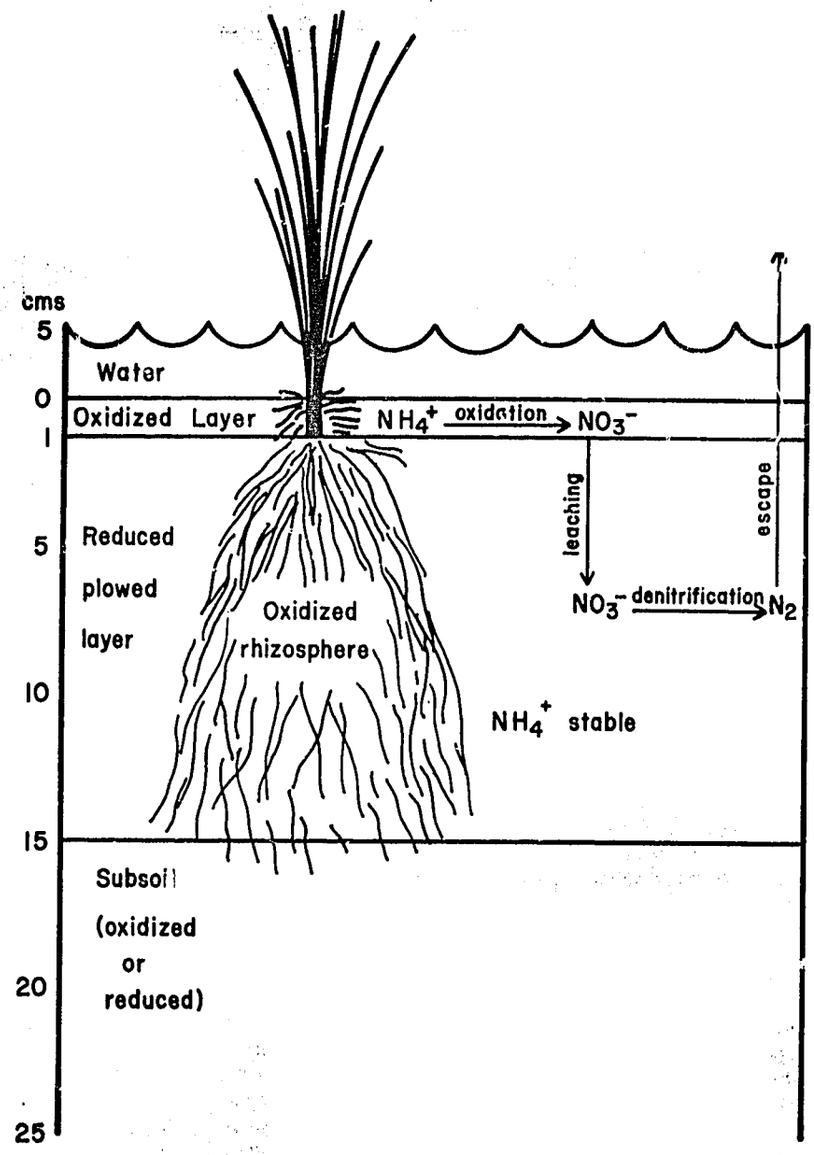
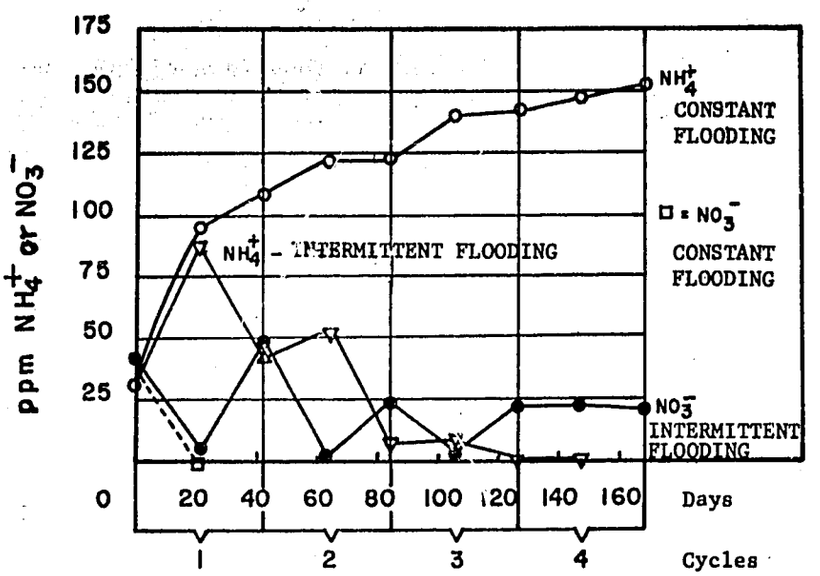


Fig. 3. Redox profile and nitrogen dynamics in a constantly flooded soil.



Alternate flooding and drying cycles

Fig. 4. Effects of constant and intermittent flooding in NH_4^+ and NO_3^- production under laboratory conditions. Flooding every 42 days. (adapted from data of Patrick and Wyatt, 1964).

tribution of irrigation water, or more frequently because of the absence of irrigation and large variability in rainfall. More than two thirds of the transplanted rice area in Asia does not have controlled irrigation and therefore lacks constant flooding. The upland (direct seeded, rainfed) cropping system, which predominates in Latin America and Africa, often presents alternate oxidation-reduction conditions caused by temporary flooding due to heavy rains followed by drought periods. Nitrogen losses under these conditions are great (Fig. 4).

A cycle appears in which all the nitrates present before flooding are lost in less than ten days after flooding (Patrick and Wyatt, 1964) The concentration of ammonium increases while the soil is reduced, but NH_4^+ icns are transformed into nitrates when the soil dries and becomes oxidized. These nitrates are then denitrified during the next flood. Losses are great during the first cycle but tend to decrease afterwards, as shown in Fig. 4. Since rice utilizes either NH_4^+ or NO_3^- ions indiscriminately (Tanaka, *et al.*, 1964), the limiting factor is the availability of the forms under alternate redox conditions.

Effects of puddling

Almost all flooded soils suffer certain degrees of puddling (i.e., the transformation of the soil structure into a uniform mud with the clay

particles oriented in parallel and the soil pores saturated with water). In Asia, puddling is performed intentionally during land preparation and unintentionally with the worker's feet during transplanting, weeding and other cultural practices. The principal effect of puddling is to decrease the movement of water through the soil. Percolation decreases by several orders or magnitude (Sanchez, 1968) and evaporation losses also decrease sharply (Buehrer and Aldrich, 1946). The soil dries out very slowly, and in some instances reduced conditions can be maintained for several weeks without flooding (Breazeale and McGeorge, 1937; Aomine and Shiga, 1959). Puddling, therefore, has a significant influence on nitrogen behavior in the soil. The puddling process does not increase nitrogen uptake or availability but significantly increases the efficiency of applied nitrogen due to lower leaching losses (Sanchez, 1968). Puddling may decrease the detrimental effects of intermittent irrigation by maintaining the soil in the reduced state for longer periods of time.

NITROGEN RESPONSE AND FACTORS AFFECTING IT

Orders of magnitude

A summary of several thousand rice fertilization experiments compiled by Doyle (1966), shows that this crop responds almost universally to nitrogen applications, but in many cases the response is negative at high rates. The linear correlation obtained (Fig. 5) shows a world

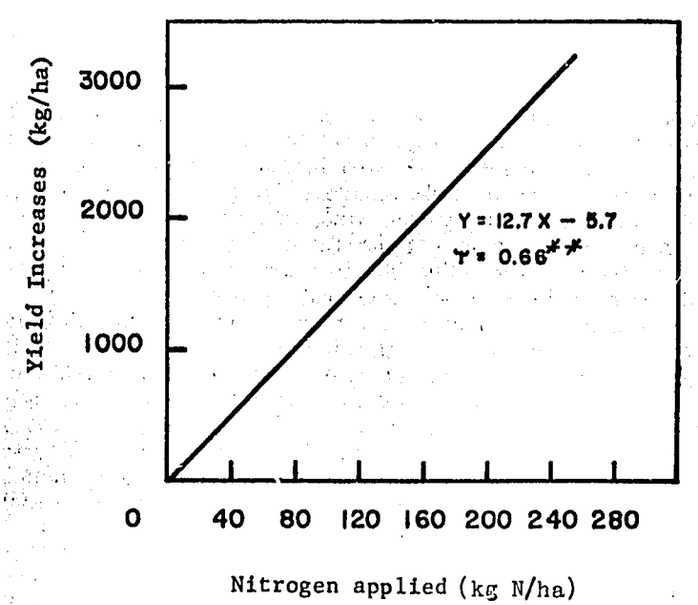


Fig. 5. World correlation between yield responses and nitrogen application rates in rice, based on 385 responses in 20 countries (Doyle, 1966).

average response of 12.7 kg of rough rice per kg of applied nitrogen. The variability in both axes of the response curve is large and it is affected by the following factors: plant type, solar radiation, water management, cultural practices and soil type. Representative responses of rice in different countries with traditional plant types (Fig. 6) illustrate how variable the response curves are. These curves can be grouped in two categories. The principal rice producing countries such as China, India, Indonesia, Thailand, Brazil and others show moderate responses at low levels of yield and applied nitrogen, with maximum yields obtained between 30 and 50 kg N/ha. In many cases, higher nitrogen rates resulted in negative responses. The second group, represented by rice-growing regions located outside the humid tropics (Australia, Egypt, Mali, United States and Peru), show sharp yield increments and optimal nitrogen rates higher than the previous group.

Countries with low responses are characterized by the use of tall varieties and poor water management. In Australia and the United States, as well as in Japan and Taiwan, the high responses obtained are associated with the use of varieties with moderate resistance to lodging, excellent water management and cultural practices. In countries like Mali and Peru where the varieties, cultural practices and water management are not so advanced, high responses are probably associated with very favorable climatic conditions. This situation indicated that the potential of nitrogen fertilization in rice in the humid tropics could not be so high as in other areas. The introduction of a new plant type for the tropics by the International Rice Research Institute in 1966 completely changed this concept.

Plant type

The IR8 variety is the prototype of the new tropical rice plant. It is characterized by its short stature, high tillering capacity, erect stems and leaves, high grain:straw ratio and resistance to lodging. The traditional plant types have vigorous growth, tall stature, low tillering capacity, weak stems and leaves and low grain:straw ratios. These traditional varieties respond to nitrogen by increasing their height, which causes lodging and subsequent yield losses at high rates of nitrogen (Tanaka, 1965; DeDatta, Moomaw and Dayrit, 1966). Figures 7, 8, and 9 illustrate the differences in responses between short-statured plant types (IR varieties) and traditional varieties under three different environments. The negative responses of traditional varieties at high nitrogen rates are largely the result of lodging.

Plant type differences in terms of several growth characteristics are shown in Fig. 10 to 14. These figures compare the performance of IR8 and the traditional variety Minabir 2 in Peru at several nitrogen levels (Sánchez, Ramírez and Calderón, 1970). Fig. 10 shows that the increase in height with N applications is much greater with the tall Minabir variety than with IR8. A close negative correlation between plant height and yield response has been reported by DeDatta, Tauro and Balaoing (1968). In spite of the high nitrogen rates used, neither plant type shows significant changes in its growth duration (Fig. 10). Nitrogen uptake at harvest was essentially identical (Fig. 11). Among the three yield components, the number of panicles per unit area is more

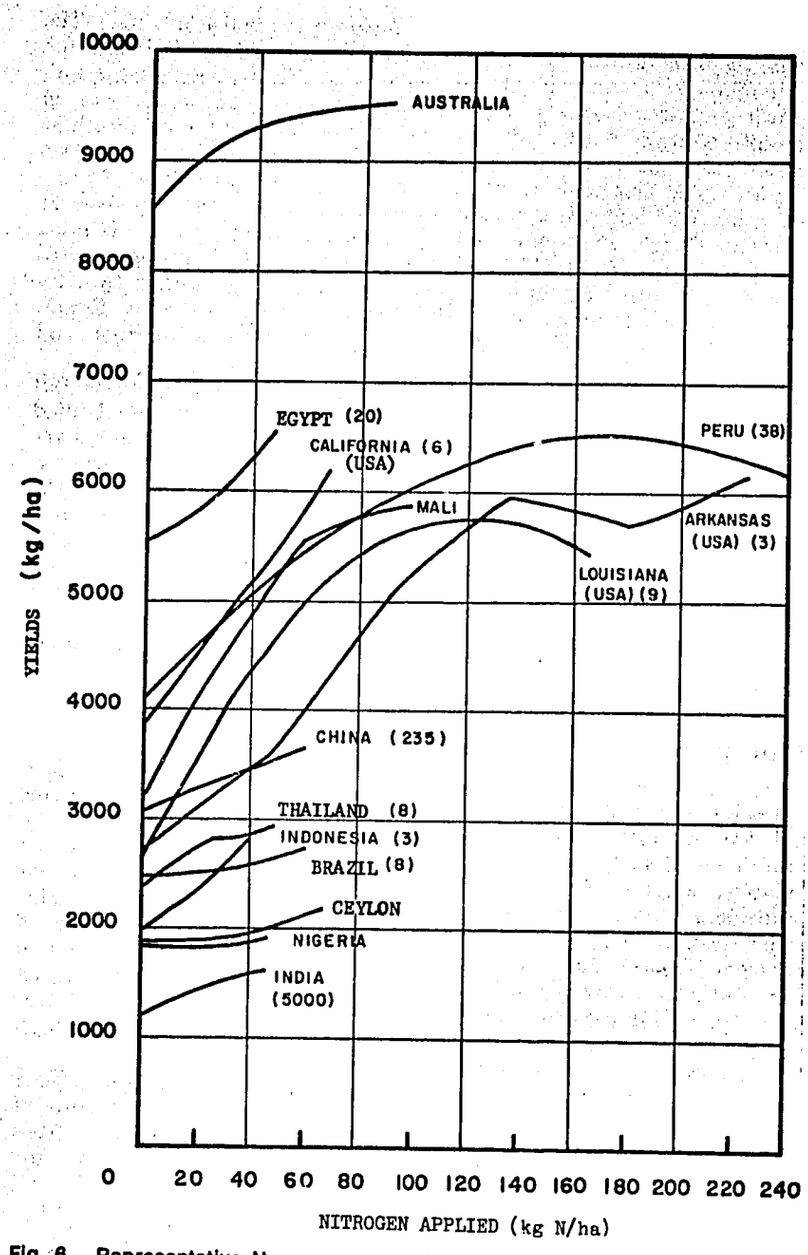


Fig. 6. Representative N responses to rice in different countries. Number of experiments in parenthesis when specified in the literature. Sources: Doyle (1966), Oliveira et al (1965, 1966), Mikklesen and Patrick (1968) and Carmen (1968).

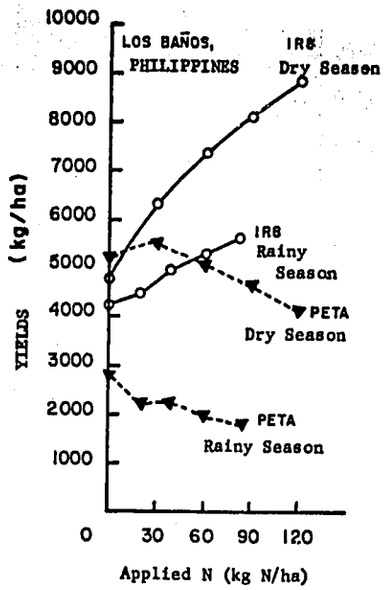


Fig. 7. Response of two plant types during seasons of different solar radiation in Los Baños, Philippines. Transplanting system under constant flooding. Three-year average (De-Datta, 1970).

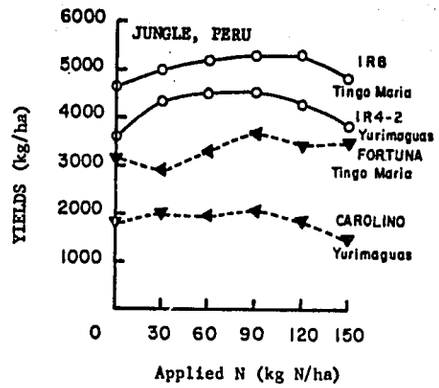
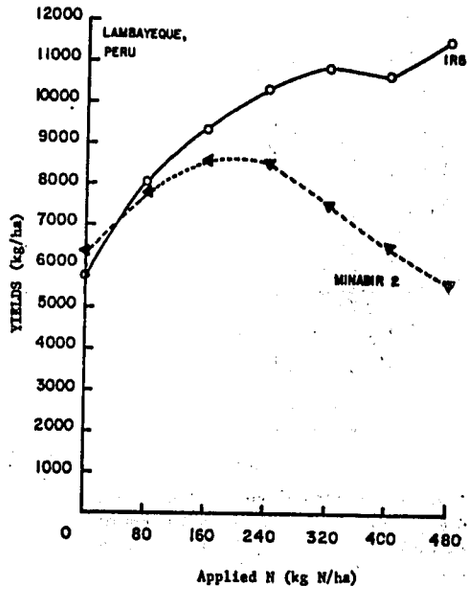


Fig. 8. Response of two plant types under upland conditions in two localities of the Peruvian Jungle (Kawano, et al. 1971b).

Fig. 9. Nitrogen response of two plant types under high solar radiation conditions in Lambayeque, Peru. Average of 10 experiments 1968-1971.



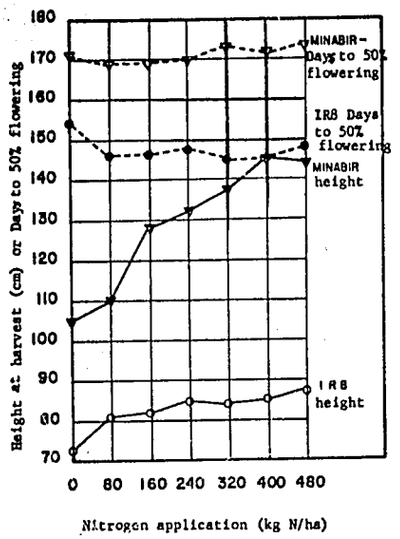


Fig. 10. Effects of N applications on plant height and growth duration at Lambayeque, Peru (Sanchez, Ramirez and Calderón, 1970).

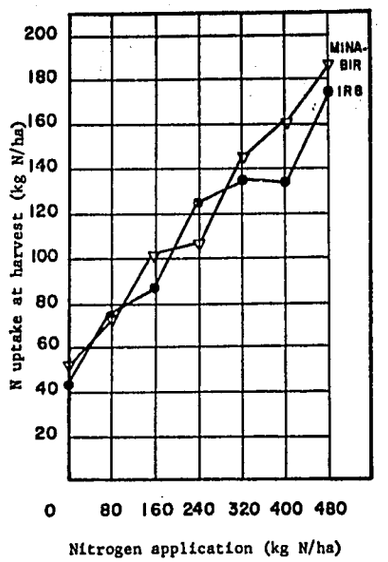


Fig. 11. N uptake by two contrasting plant types at Lambayeque, Peru (Sanchez, Ramirez and Calderón, 1970).

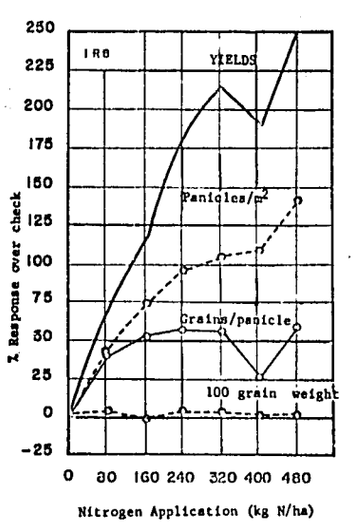


Fig. 12. Relative yield and yield component responses to N in IR8 at Lambayeque, Peru (Sanchez, Ramirez and Calderón, 1970).

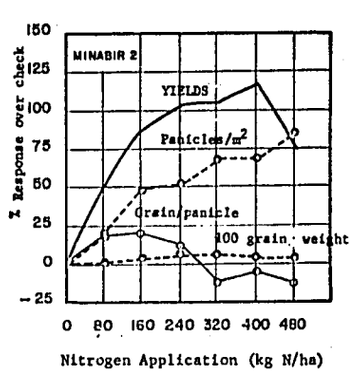


Fig. 13. Relative yield and yield component responses to N in Minabir 2 at Lambayeque, Peru (Sanchez, Ramirez and Calderón, 1970).

closely related to yield increases in IR8 than the number of filled grains per panicle or the individual grain's weight (Fig. 12). For Minabir 2, yield responses are related to both panicles per unit area and filled grains per panicle (Fig. 13). These results suggest that the new varieties respond mainly by increasing their tiller number while traditional varieties also respond in terms of panicle size. Tillering in rice is intimately associated with the nitrogen status of the plant (Tanaka *et al*, 1964). The overall differences between the two plant types are summarized in Fig. 14, which shows the proportion of grain to straw produced as a function of nitrogen applied. The new varieties have the ability to convert more nitrogen and photosynthates into grain, using a smaller straw base to produce it than the tall traditional varieties.

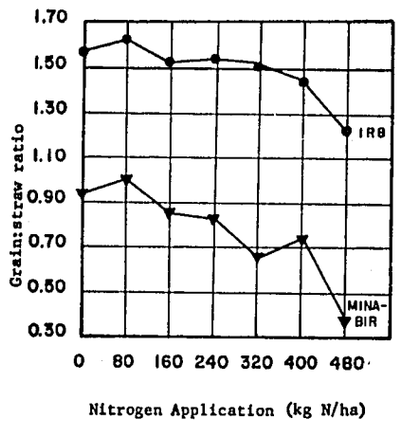


Fig. 14. Grain:straw ratio as a function of N rates in two plant types at Lambayeque, Peru (Sanchez, Ramirez and Calderón, 1970).

Solar radiation

When rice is grown in constantly flooded soils, the differences in its nitrogen responses between rainy and dry seasons are mainly associated with differences in solar radiation, since the fluctuation of other climatic and agronomic factors is small (DeDatta, 1970). The greater solar radiation during dry seasons provides more photosynthetic energy and allows larger nitrogen responses and yields in both plant types than during the rainy season. Nitrogen responses are higher in short plant types (Fig. 7). The rainy season with its high degree of cloudiness provides less solar radiation and consequently lower yields and nitrogen responses. During the reproductive period, yields and solar radiation are highly correlated (DeDatta and Zarate, 1970). Nitrogen response in the Peruvian jungle (Fig. 8) is similar to that observed during the rainy season in the Philippines, due to similar levels of solar radiation. The high responses obtained in the Peruvian coast result partly from solar radiation levels higher than those during the dry season in the Philippines, allowing high yields and optimum responses at 160 kgN/ha with the traditional variety (Sánchez, 1969b). The intermittent flooding typical of this area explains in part the high rates used. The dominating influence of solar radiation on nitrogen response is evident in Fig. 15,

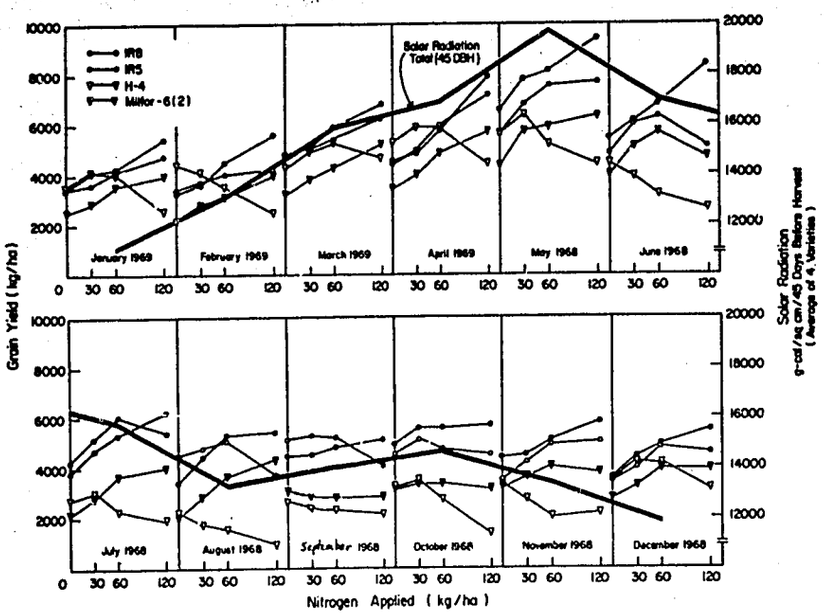


Fig. 15. Nitrogen response of four indica rice varieties by their month of harvest plotted with the solar radiation total for 45 days before harvest (DBH). Transplanted, constant flooding, Los Baños, Philippines (DeDatta and Zarate, 1970).

which illustrates the variety-nitrogen interactions as a function of planting dates.

Growth duration and temperature

In the tropics, the average growth duration for traditional varieties and cultural practices is about 120 to 140 days from seeding to harvest (Tanaka and Vergara, 1967). This range excludes extremes in photosensitivity which are usually associated with low yields. The variability in growth duration of varieties slightly photoperiod-sensitive, is small and does not affect their nitrogen response except for varieties very susceptible to lodging. In such cases prolonging growth duration increases plant height and thus lodging susceptibility (DeDatta and Zarate, 1970). Large rice-producing areas exist in the tropics where low temperatures are a limiting factor during part or all of the growing season, due to elevation or other climatic conditions (Arraudeau, 1970; Battacharyya and DeDatta, 1971 and Sanchez, 1969b). Mean monthly temperatures lower than 21 degrees C are considered limiting to rice (Sanchez, 1969a). Low temperatures normally extend the growth duration. Maximum yields are associated with growth durations between 160 and 180 days on the coast of Peru (Kawano, Arriola and Velazquez, 1971a) These authors observed that varieties of shorter growth duration did not produce sufficient dry matter to achieve high yields, while those which required more than 180 days to mature showed a low grain: straw

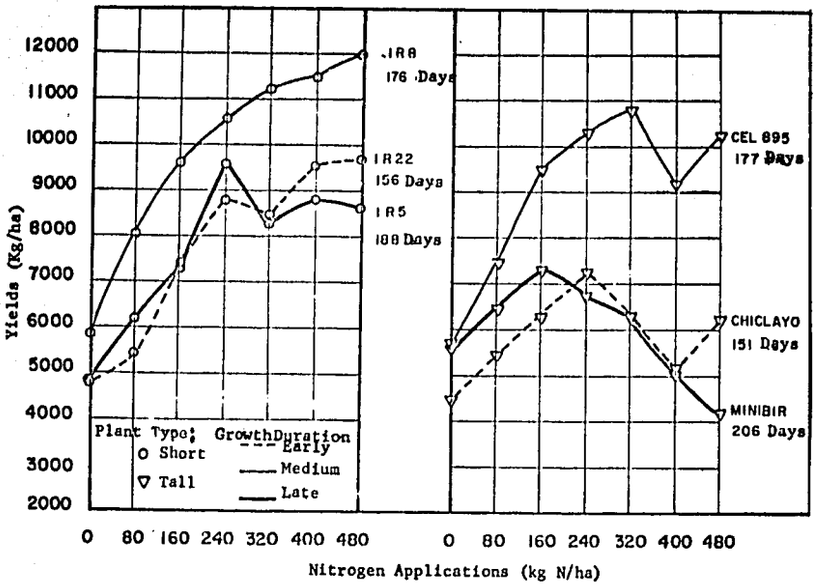


Fig. 16. Influence of plant type and growth duration on nitrogen response under conditions of low temperatures, high solar radiation and intermittent flooding in transplanted systems. Lambayeque, Peru (Ramirez and Sanchez, 1971b).

ratio associated with high spiklet sterility induced by low temperatures. Nitrogen response under limiting temperature varies widely with growth duration and date of seeding (Fig. 16). Varieties with optimum growth duration respond positively to nitrogen applications regardless of plant type up to levels of 320 kg N/ha. At higher nitrogen rates, the yield of a tall plant type CEL895 decreased while IR8 continued to increase. Varieties with shorter or longer growth durations than the optimum established by Kawano, Arriola and Velazquez (1971a) responded with less intensity, showing a clear effect of plant type. When dates of seeding are delayed (Fig. 17), the possibility of low temperature induced sterility at the flowering stage increases. Both plant types show progressively lower responses to nitrogen, reaching complete sterility in the last planting of this example.

Water Management

Due to the large nitrogen losses caused by alternate flooding and drying, nitrogen responses under these conditions are lower than under constant flooding. Studies conducted in the United States (Patrick, *et al*, 1967) and in India (Fig. 18) show that nitrogen response curves under intermittent flooding were lower and parallel to those obtained under constant flooding. This suggests that the optimal nitrogen levels are the same, but due to the large nitrogen losses the yield potential is lower under intermittent flooding. A preliminary test in Peru (Fig. 19)

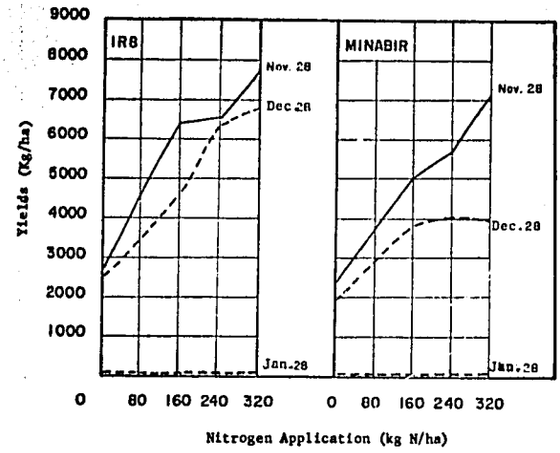


Fig. 17. Effects of date of seeding on the nitrogen response of varieties with different plant type and growth duration in Lambayeque, Peru (Ramirez and Sanchez, 1970).

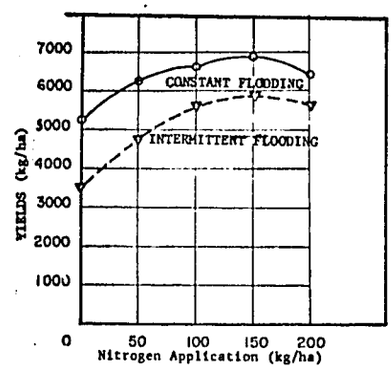


Fig. 18. Water management effects on nitrogen response of Padma variety, New Delhi, India. (Adapted from AICRIP, 1969).

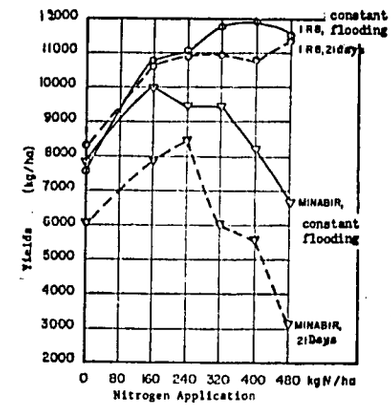


Fig. 19. Effects of constant flooding vs flooding every 21 days on nitrogen responses of two varieties in Lambayeque, Peru (Ramirez and Sanchez, 1971b).

suggested the existence of considerable varietal differences. In this experiment, the variety IR 8 was less affected by intermittent irrigation than the traditional variety Minabir 2. The latter variety was heavily attacked by *Pyricularia oryzae*, a disease which is often severe under limited water supply. Recently Nicou, Seguy and Haddad (1970) have indicated that the variety IR8 has more root ramifications than other varieties under upland conditions in Africa. These indications of varietal differences merit further study in order to quantify these crucial variety-nitrogen-water interactions.

The upland system (defined as direct seeding of rice on land without dikes to trap water and depending exclusively upon rainfall for its water supply) is used in more than 75 percent of the rice areas in Latin America (Brown, 1969). It predominates in Africa and is used in vast areas of Asia. Recent studies have shown that the same relationships among plant type and solar radiation developed under irrigated conditions are applicable to upland conditions, and that the yields obtained, as well as the nitrogen responses, are also affected by the duration of drought periods (DeDatta and Beachell, 1971). Jana and DeDatta (1971) found that upland rice suffers from moisture stress at soil moisture tensions lower than the range considered as adequate for other crops (between 0.3 and 15 atmospheres). The optimum range for rice appears to be between field capacity and saturation (DeDatta and Beachell, 1971). It is not necessary to keep a water layer to obtain high yields; saturation is sufficient.

In an experiment conducted in the Philippines, Jana and DeDatta (1971) illustrated the influence of water stress and solar radiation on nitrogen response (Fig. 20). The July 6 seeding did not suffer from lack of water and nitrogen response was normal. For the July 21 seeding, the lower response was associated with water stress during the reproductive stage. The August 14 seeding was seriously affected by lack of water during flowering. The August 22 seeding suffered serious water

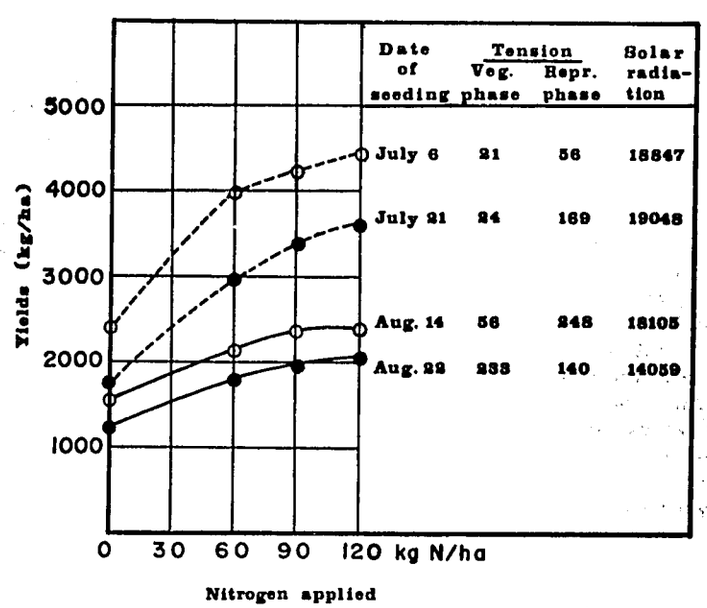


Fig. 20. Influence of soil moisture tensions at 20 cm depth (mm Hg) during the vegetative and reproductive growth phases and solar radiation (g-cal/cm^2) during the reproductive phase, on nitrogen response by upland rice in Los Baños, Philippines. (Adapted from Jana and DeDatta, 1971). Field capacity: 250 mm Hg.

stresses during the vegetative stage but not in its reproductive stage. In the last two cases the responses were very low. The differences among the first three seedings are exclusively related to different degrees of water stress since the solar radiation levels were similar. The August 22 seeding reflects the effects of lower solar radiation. Several studies suggest that in areas with annual rainfall of over 2000 mm water stress at any stage of growth is the most critical factor affecting upland rice production (DeDatta and Beachell, 1971).

Cultural practices

Since nitrogen response and tillering capacity in the tropics are closely related (Tanaka *et al*, 1964), tiller production depends principally on nitrogen application rates. Tillering is also affected by plant type and solar radiation levels. Based on extensive experimental results, Villegas and Feuer (1970) recommended plant spacings designed for obtaining optimum nitrogen responses in the Philippines (Table 1). Tall varieties

Table 1. Spacings between hills recommended in the Philippines to obtain maximum response to N. From Villegas and Feuer, 1970.

Plant Type	Spacing (cm)	
	Low solar radiation	High solar radiation
Short	25 x 25	20 x 20
Tall	35 x 35	30 x 30

require wide spacing to reduce the detrimental effects of mutual shading and lodging. Short plant types do not have the tendency to lodge and can use solar energy to the maximum with close spacing because of their erect leaf habit. In climatic conditions with high solar radiation, both plant types can be seeded more densely because the greater leaf area is able to intercept the higher amounts of solar energy available. In Latin America, most of the rice farms visited by this writer show evidence of excessive spacing for obtaining optimal nitrogen responses.

Other cultural practices which affect nitrogen responses are pest and weed control. In studies with three different types of herbicides and insecticides (IRRI, 1966), it was noticed that the shape of the nitrogen response curve was similar, but the magnitude of the response was related to the degree of pest and weed control.

Soil properties

Rice is generally grown on soils with high water retention capacity resulting from their texture, structure, or the presence of slowly permeable layers in the subsoil. Cation exchange capacity and available soil nitrogen seem to be the most important soil parameters affecting

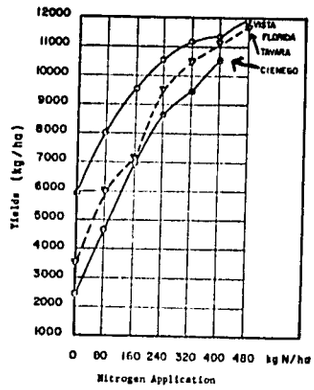


Fig. 21. Nitrogen response in three experimental fields in the Lambayeque Valley, Peru, 1970 and 1971. IR5 variety. (Data of Ramirez and Sanchez, 1971b and Gavidia, 1971).

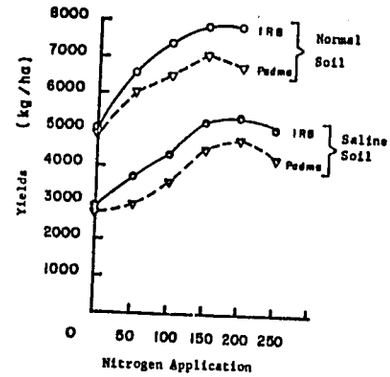


Fig. 22. Varietal response in saline and normal soils in New Delhi, India. Transplanted system, rainy season. (AICRIP, 1969).

nitrogen response. The higher the exchange capacity, the larger will be the capacity of the soil to supply and retain NH_4^+ (DeDatta, 1970; Villegas and Feuer, 1970). Soil nitrogen alone can produce between 1 and 9 ton/ha of rice. In some cases under similar climatic conditions, varieties and cultural practices, great differences in native fertility tend to decrease as nitrogen rates increase (Fig. 21). Nitrogen response curves are affected by deficiencies or toxicities of other nutrients and physiological disturbances. High levels of soil salinity in India (Fig. 22) caused a parallel decrease of the response curve relative to non-saline soils.

Formulating nitrogen recommendations to farmers

From the previous discussion it is obvious that the development of realistic economic recommendations for nitrogen use in rice is a problem different from that of other crops. Routine soil analysis mainly for organic matter or total nitrogen content are of poor predictive value (Ponnamperuma, 1965; Peterson, *et al*, 1971). Countries such as Japan and the United States base their recommendations upon field experiments conducted on the principal rice soils and upon the experience of farmers and research workers. The most realistic recommendations are divided according to plant types, rainy and dry seasons and principal soil types (Villegas and Feuer, 1970). It is interesting to note that recommendations determined in this manner in India and the Philippines (Kanwar, 1971; Villegas and Feuer, 1970) included higher rates (80 and 192 kg N/ha) for the new varieties. These rates were previously considered not economical for tropical rice. Recently, Sims, Wells and Tackett (1967a) have shown that the measurement of NH_4^+-N production after

six days of anaerobic incubation has some potential for evaluating nitrogen availability of rice soils. So far, this technique has not been applied in soil testing laboratories.

FACTORS WHICH AFFECT THE EFFICIENCY OF NITROGEN USE

Nitrogen sources for constant flooding

The nitrogen dynamics in flooded soils illustrated in Fig. 3 indicate that ammoniacal sources are superior to nitric ones. A recent review of the literature on this subject (DeDatta and Magnaye, 1969), as well as a series of field experiments with N^{15} conducted by the International Atomic Energy Agency in 15 countries (IAEA, 1970), confirms the general absence of differences between ammonium sulphate and urea in constantly flooded soils (Table 2). For soils deficient in sulfur,

Table 2. Relative performance of three nitrogen sources on constantly flooded soils. Mean of 15 experiments in 13 countries. (Calculated from data of IAEA, 1970).

Nitrogen Sources	Yield (ton/ha)		% Recovery of applied N in the grain	
	Incorp. in 0-5 cm layer	Broadcast prior to pan. init.	Incorp.	Broadcast
Ammonium sulfate	5.1	5.0	18.8	23.1
Urea	5.1	4.9	18.4	23.1
Sodium nitrate	4.1	4.5	3.0	10.9

ammonium sulfate is sometimes superior to urea, but the reverse is true in extremely acid soils with low Fe contents where H_2S toxicity may occur. Urea hydrolysis into ammonium carbonate requires the same time in flooded soils as in well-aerated ones (Delaune and Patrick, 1970). Before hydrolysis, urea cannot be fixed by the clay particles; therefore, it can move as fast as nitrates. This greater mobility plus possible volatilization losses when applied to the soil surface are the most frequent explanations given in cases where urea is inferior to ammonium sulfate (DeDatta and Magnaye, 1969).

The inefficiency of sodium nitrate in constantly flooded soils can be observed in Table 2. Nitrate utilization increases when it is applied to the surface at the time when the rice plant has developed a superficial mat of roots capable of absorbing nitrates before they are leached to the reduced zone. Even in these cases, its efficiency is inferior to that of ammoniacal sources. Nitrification inhibitors used as additives have failed at the field level (DeDatta and Magnaye, 1969; IAEA. 1970). Anhydrous ammonia is an excellent nitrogen source for flooded rice, but mechanization difficulties and possible volatilization losses at the time

of incorporation have prevented large scale use. Organic manures of plant or animal origin have been used for centuries in Asia. Although organic matter generally decomposes more slowly under flooded conditions, the responsible microorganisms function at higher C/N ratios than under aerobic conditions (DeDatta and Magnaye, 1969). With the nitrogen levels now recommended, the actual potential of organic fertilizers is limited. They can be used only as possible supplements to inorganic sources.

Nitrogen sources for intermittent flooding

Comparisons between nitrogen sources are very limited under intermittent flooding. Studies in Peru (Fig. 23) indicate that when nitrogen is applied in split applications there are no differences between urea and ammonium sulfate, in spite of the fact that the soil had an aerobic pH of 8.2. $NaNO_3$ applications at panicle initiation were extremely inef-

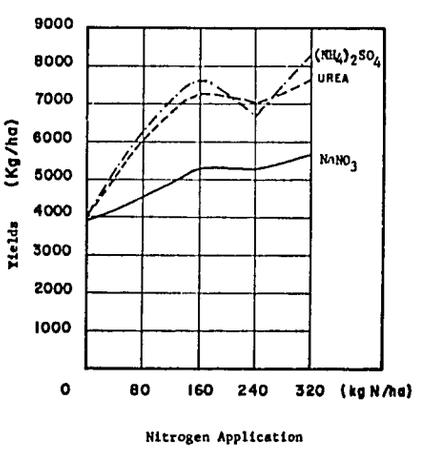


Fig. 23. Effects of three N sources on N response under intermittent flooding in Lambayeque, Peru. IR5 variety. (Ramirez and Sanchez, 1971a).

ficient, since rice under alternate flooding and drying conditions does not develop a significant quantity of superficial roots able to absorb NO_3^- before it can be leached down to the reduced layer (Ramirez and Sanchez, 1971a). Recently, several slow-release sources of nitrogen such as sulfur-coated urea have been studied in various countries. Experiments with sulfur-coated urea supplied by the Tennessee Valley Authority have indicated that this source behaves similarly to conventional urea under flooded conditions and low percolation rates (IRRI, 1969; Patrick *et al*, 1969). However, under intermittent flooding (Table 3) sulfur-coated urea incorporated before transplanting seems superior to conventional sources applied in the same manner and in some instances is superior to split applications of regular urea. The potential of slow-release fertilizers for upland systems is being evaluated in several countries.

Table 3. Effects of sulfur-coated urea (SCU) and placement methods at transplanting on IR8 yields at Rajendanagar, India. N rate = 120 kg N/ha. (Adapted from data by Ten Have, 1971).

Nitrogen Source	Grain yields (ton/ha)		
	Broadcast on surface	Incorporated at 5 cm	Incorporated at 10 cm
Urea	4.5	5.5	6.1
Urea & Sulfur	4.3	5.4	6.0
SCU—type I	6.5	7.3	8.2
SCU—type II	6.1	6.9	7.8
Urea split in 3 applications		6.0	
No nitrogen		2.3	

Methods of nitrogen placement

Nitrogen is normally applied in two ways: either incorporated in the soil before seeding or transplanting, or broadcast at different stages of growth. The need to incorporate ammoniacal sources into the reduced layer in systems with constant flooding is well known (Mikklesen and Finfrock, 1957; DeDatta, 1970). Incorporations 5 cm. deep are sufficient for constant flooding conditions (Fig. 24) but without constant flooding a deeper application may be beneficial as the data in Table 3 indicate. The N^{15} studies conducted by the International Atomic Energy Agency (IAEA, 1970) have provided additional information (Table 4). The

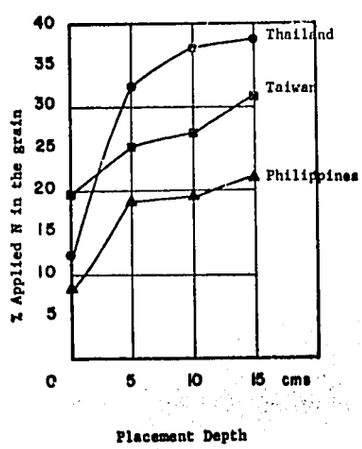


Fig. 24. Influence of placement depth of basal applications of ammonium sulfate on the efficiency of N in three localities. (Adapted from IAEA, 1970).

Table 4. Efficiency of utilization of ammonium sulphate as affected by placement depth under constant flooding in several countries. (Adapted from IAEA, 1970).

Location	Aerobic pH	% Applied Nitrogen in the Grain	
		Surface application	Incorporated at 5 cm.
Thailand	4.7	23.0	23.3
Bangladesh	5.3	10.0	17.0
Philippines	6.1	17.7	23.3
Ceylon	7.3	12.3	18.6
Pakistan	8.1	25.7	28.0
Egypt	8.2	23.7	23.0

benefits of incorporation at 5 cm were not observed in soils with aerobic pH of 4.7 or 8.1. This effect has been attributed to the inhibition of nitrification of ammoniacal sources applied to the superficial layer where the pH does not change. At these pH extremes, nitrification is minimal.

Under alternate redox conditions in Peru, incorporation at transplanting was inferior to broadcast applications at advanced stages of growth (Fig. 25). Ramirez and Sanchez (1971a) have attributed this effect to great N losses caused by frequent and pronounced flooding and drought cycles during the initial periods of growth.

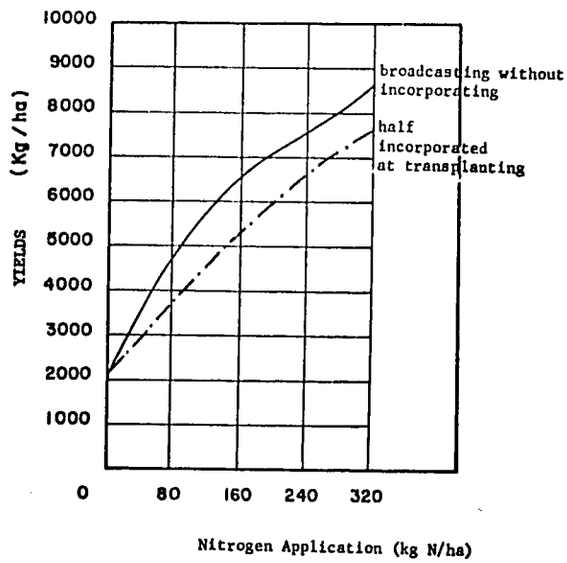


Fig. 25. Influence of two methods of N application under intermittent flooding in Lambayeque, Peru (Ramirez and Sanchez, 1971a).

Broadcast applications at the tillering or panicle initiation stages are more efficient in the presence of a thin layer of standing water; it is not recommended that the soil be drained after nitrogen applications (AICRIP, 1969; DeDatta, 1970).

Timing of nitrogen applications under constant flooding

The rapid changes that nitrogen undergoes in rice soils during short periods causes the timing of nitrogen applications to be an extremely critical factor in this crop. Nitrogen uptake proceeds throughout the growth cycle of the rice plant, but its nitrogen supply during two physiological stages is critical under tropical conditions: the beginning of tillering during the vegetative phase and the panicle initiation stage (Matsushima, 1965). An adequate supply of available nitrogen during the beginning of tillering results in more tillers, which are closely correlated with yield in short-statured plant types. However, excessive supplies of available nitrogen after the maximum tillering stage and before panicle initiation may result in a large proportion of unproductive tillers and premature lodging of tall varieties. The nitrogen available between panicle initiation and flowering is closely correlated with the number of fertile grains per panicle. Excessive quantities after flowering may extend growth duration and increase the susceptibility to certain diseases. The purpose of timing nitrogen applications is to synchronize the plant's requirements with the availability of this element in the soil throughout the growing season. As expected, great variability of experimental results in different localities occur as well as in the same localities during different years (Evatt, 1965; DeDatta, 1970; Sanchez and Calderon, 1970).

Under constant flooding, a basal application entirely incorporated before seeding or transplanting is normally sufficient for soils with low percolation rates and with varieties resistant to lodging. In flooded soils with high percolation rates, splitting nitrogen applications in two is more efficient provided the second half is applied at the panicle initiation stage (Evatt, 1965; DeDatta, 1970). For varieties susceptible to lodging, applications at panicle initiation are advisable since they tend to reduce initial excessive growth (DeDatta, 1970) and may prevent lodging altogether (Sims, Hall and Johnston, 1967b).

Timing of nitrogen applications under intermittent flooding

When experiments are conducted on farmers' fields with inadequate water management, it is commonly found that the rates as well as the optimum timing of applications are completely different from experiment station results (IRRI, 1969; Sanchez and Calderon, 1971). Higher rates and splitting applications in two parts were necessary to obtain high yields with tall and short plant types and at several solar radiation levels. In cases of alternate flooding and drying, more than 90 percent of the nitrogen incorporated at transplanting may be lost, while when it is applied at the panicle initiation stage, yields increased (Fig. 26) and the efficiency of nitrogen utilization doubled (Sanchez and Calderon,

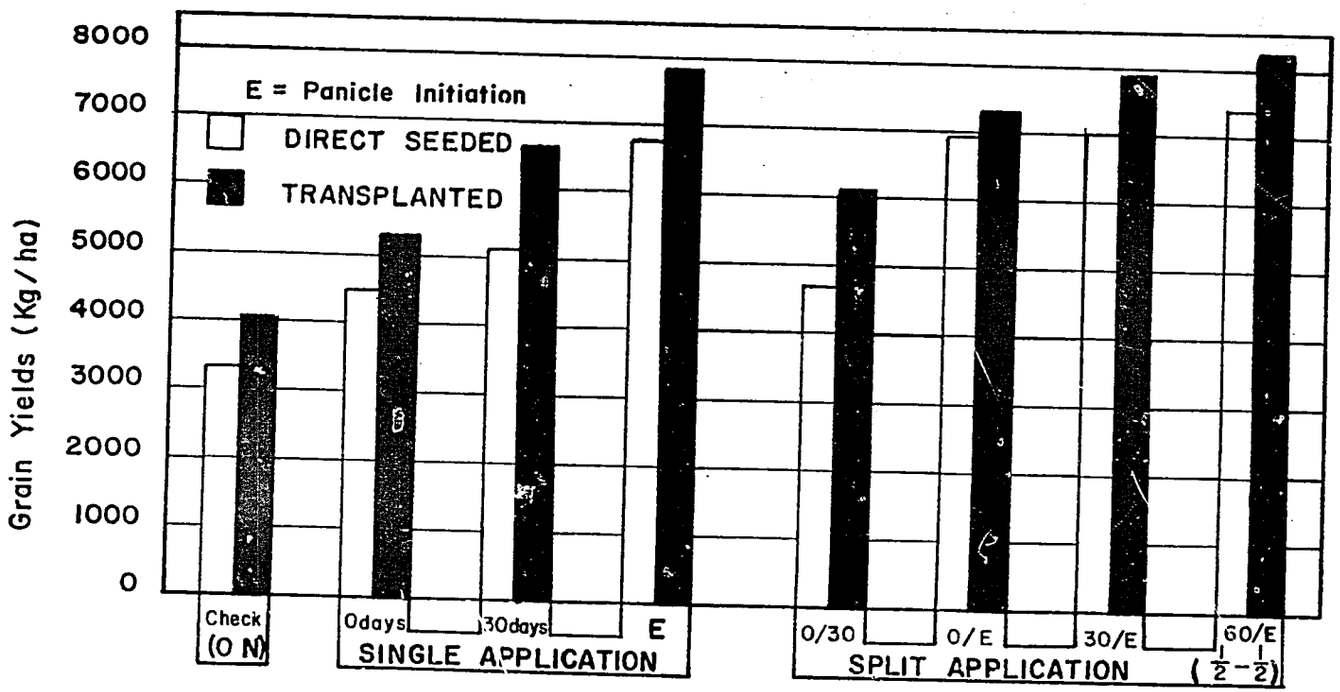


Fig. 26. Effects of timing of an application of 180 kg N/ha on rice performance under two planting systems and intermittent flooding (Sanchez and Calderon, 1971).

1971). In upland rice, splitting in two parts is definitively superior to a single application, especially during the reproductive phase. In general, few additional benefits are obtained with more than two applications.

Recovery of applied nitrogen

The efficiency of applied nitrogen utilization is somewhat lower in flooded rice than in other crops. In United States rice areas, Westfall (1969) estimated that the fertilizer recovery ranges from 33 to 53 percent with rates of 40 to 120 kg N/ha. Racho and DeDatta (1968) reported maximum efficiencies of 33 percent for applications of 30 kg N/ha in the rainy season and 57 percent with rates of 90 kg N/ha in the dry season in the Philippines. The different loss mechanisms have not been evaluated in detail, although it is assumed that denitrification and leaching are the most important processes involved.

Under alternate oxidation-reduction conditions, nitrogen losses increase. Apparent fertilizer recovery at harvest time fluctuated between 20 and 30 percent with the conventional management practices in Peru, but the efficiency can be increased substantially by the selection of sources, placement and timing practices most adequate for local situations (Sanchez and Calderon, 1971; Ramirez and Sanchez, 1971a).

SUMMARY AND CONCLUSIONS

The chemical reduction of the soil upon flooding results in a series of changes in nitrogen dynamics not found in other crops. Under alternate oxidation and reduction conditions due to temporary flooding in the majority of tropical areas, losses of native or applied nitrogen are great. Rice responses to nitrogen are minimal when tall traditional varieties susceptible to lodging are used, but responses are large and economical when higher rates are applied to short-statured varieties. Nitrogen recommendations for flooded rice cannot be based on soil analysis, since adequate methods have not been developed. In addition to soil properties, other factors such as plant type, solar energy, temperature, water management and spacing must be considered. The most effective nitrogen sources are the ammoniacal ones, especially ammonium sulfate and urea. Nitrate sources are unsatisfactory. New slow-release ureas may have a future for intermittent flooding conditions but apparently not for constant flooding. The best method of application is a basal dose incorporated in the soil before seeding or transplanting, followed by a second broadcast application during the panicle initiation stage, except in cases of constantly flooded soils with low percolation. Delaying the timing of applications to advanced stages of growth appears to be a more efficient practice in intermittently flooded and upland systems. The efficiency of nitrogen utilization in rice is lower than in other crops and much lower under intermittent flooding than under constant flooding. The potential for improving nitrogen management under inadequate water management conditions for tropical rice is large.

The basic concepts of nitrogen management in constantly flooded soils are well established. The necessary research in a new area essentially consists of establishing simple response curves for different ecological zones with variables such as plant types, solar radiation (through date of seeding trials) and manipulation of logical combinations of nitrogen sources, placement and timing of applications.

Under poor water management conditions, whether intermittent flooding or upland systems, it is necessary to quantify basic concepts and obtain more field data since this condition has not received much attention, in spite of the fact that the vast majority or rice areas in the tropics suffer from alternate redox conditions.

REFERENCES

AICRIP. 1969. All India Coordinated Rice Improvement Project. Progress Report, Kharif 1969. Volume 2. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, India.

Aomine, S., and Y. Shiga. 1959. Soil fabric of the plowed layer of flooded rice fields. Soil Plant Food 5:64-72.

Arraudeau, M. 1970. Le recherche de varieties de riz resistantes au froid en Japon—transposition en Republique Malagache. Agron. Trop. (France) 10:948-955.

Battacharyya, A. K., and S. K. DeDatta. 1971. Effects of soil temperature regimes on growth characteristics, nutrition and grain yield of IR 22 rice. Agron. J. 63:443-449.

Breazeale, J. F., and W. T. McGeorge. 1937. Studies on soil structure: Some nitrogen transformations in puddled soils. Ariz. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 69.

Brown, F. B. 1969. Upland rice in Latin America. Int. Rice. Comm. Newsletter 18(1):1-5.

Buehrer, T. F., and D. G. Aldrich, 1946. Studies on soil structure. VI. Water bound by individual soil constituents as influenced by puddling. Ariz. Agri. Exp. Sta. Tech. Bull. 110.

Carmen, M. L. 1968. Yield of rice as affected by fertilizer rates, soil and meteorological factors. Ph.D. Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa. 174 pp.

DeDatta, S. K. 1970. Fertilizers and soil ammendments for tropical rice. In: Rice Production Manual, Second Edition, University of the Philippines College of Agriculture, Los Baños, Philippines. pp. 106-145.

DeDatta, S. K., and C. P. Magnaye. 1969. A survey of the forms and sources of fertilizer nitrogen for flooded rice. Soils and Fertilizers 32(2):103-109.

DeDatta, S. K., and P. M. Zarate. 1970. Environmental conditions affecting the growth characteristics, nitrogen response and grain yield of tropical rice. Biometeorology 4(1):71-89.

DeDatta, S. K., and H. M. Beachell. 1971. Varietal response to some factors affecting production of upland rice. Rice Breeding Symposium. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. (In press).

DeDatta, S. K., J. C. Moomaw, and R. S. Dayrit. 1966. Nitrogen response and yield potential of some rice varietal types in the tropics. IRC Newsletter 15(3):16-28.

DeDatta, S. K., A. C. Tauro, and S. N. Balaoing. 1968. Effect of plant types and nitrogen level on the growth characteristics and grain yield of indica rice in the tropics. Agron. J. 60:643-647.

Delaune, R. D., and W. H. Partick, Jr. 1970. Urea conversion to ammonia in waterlogged soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:603-607.

Doyle, J. J. 1966. The response of rice to fertilizer. FAO Agricultural Studies No. 70. FAO, Rome. 69 pp.

Evatt, N. S. 1965. The timing of nitrogenous fertilizer applications on rice. In: IRRI, The Mineral Nutrition of the Rice Plant. Johns Hopkins Press, Baltimore. pp. 243-254.

Gavidia O., A. 1971. Resultados experimentales de la campaña 1970-71. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Peru.

IAEA. 1970. International Atomic Energy Agency. Rice Fertilization. Tech. Report Series 108, Vienna, Austria.

IRRI. 1966. The International Rice Research Institute, Annual Report for 1966. Agronomy Chapter. Los Baños, Philippines.

IRRI. 1969. The International Rice Research Institute, Annual Report for 1969. Agronomy Chapter. Los Baños, Philippines.

Jana, R. K., and S. K. DeDatta. 1971. Effects of solar energy and soil moisture tension on the nitrogen response of upland rice. Int. Symposium Soil Fert. Evaluation Proc. 1:487-498.

Kanwar, J. S. 1971. Soil testing service in India—retrospect and prospect. Int. Symposium Soil Fert. Evaluation Proc. 1:1103-1113.

Kawano, K., P. Arriola, y R. S. Velazquez. 1971a. Características varietales del arroz relacionadas con altos rendimientos en la Costa del Peru. Progr. Nac. Arroz. Inf. Tec. 55. 36 pp.

Kawano, K., P. A. Sanchez, M. A. Nureña, and J. Velez. 1971b. Upland rice in the Peruvian Selva. Rice Breeding Symposium, International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. (In press).

Matsushima, S. 1965. Nitrogen requirements at different stages of growth. In IRRI: The Mineral Nutrition of the Rice Plant. pp. 219-242. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

Mikklesen, D. S., and D. C. Finfrock. 1957. Availability of ammoniacal nitrogen to lowland rice as influenced by fertilizer placement. Agron. J. 49(6):296-300.

Mikklesen, D. S., and N. S. Evatt. 1966. Soils and fertilizers. In: Rice in the United States: Varieties and production. USDA Agricultural Handbook No. 289.

Mikklesen, D. S., and W. H. Partick, Jr. 1968. Fertilizer use on rice. In: Changing Patterns in Fertilizer Use. pp. 403-432. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin.

Nicou, R., L. Seguy, et G. Haddad. 1970. Comparison de l'enracinemente de cuatre varietes de riz pluvial en presence on absence de travial du sol. Agron. Trop (France) 8(25):639-659.

Oliveira, D. de A., J. C. Montojo, T. Igue, H. Miranda, and M. L. Freitas. 1965. Ensaios preliminares de adubacão do arroz de sequeiro. II. Cultivar Pratão. Bragantia 24(33):437-446.

Oliveira, D. de A., J., C. Montojo, T. Igue, H. Miranda, and M. L. Freitas. 1966. Ensaios preliminares de adubacão do arroz de sequeiro. III. Cultivar Dourado Precoce, Bragantia 25(1):1-8.

Patrick, W. H., Jr., and R. Wyatt. 1964. Soil nitrogen loss as a result of alternate submergence and drying. Soil Sci. Amer. Proc. 28:647-653.

Patrick, W. H. Jr., W. A. Quirk, F. J. Peterson, and M. D. Faulkner. 1967. Effect of continuous submergence vs. alternate flooding and drying on growth, yield and nitrogen uptake by rice. Agron. J. 59(5):418-419.

Patrick, W. H. Jr., F. J. Peterson, and F. E. Wilson. 1969. Sources of nitrogen for rice. 61st. Annual Progress Report, Rice Experiment Station, Crowley, La. pp. 64-65.

Peterson, F. J., R. H. Brupbacker, H. L. Clerk, and J. E. Sedberry, Jr. 1971. Rice fertilization as related to soil type and soil test. Int. Symposium Soil Fert. Evaluation Proc. 1:445-454.

Ponnamperuma, F. N. 1955. The chemistry of submerged soils in relation to the growth and yield of rice. Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, N. Y. 414 pp.

Ponnamperuma, F. N. 1965. Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant. In IRRI: The Mineral Nutrition of the Rice Plant. pp. 295-328 and pp. 461-482. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

Racho, V. V., and S. K. DeDatta. 1968. Nitrogen economy of cropped and uncropped flooded rice soils under field conditions. Soil Sci. 105(6):417-427.

Ramírez, G. E., y P. A. Sánchez. 1970. Experimentos de agronomía en Lambayeque. Datos no publicados. Programa Nacional de Arroz, Lambayeque, Peru.

Ramírez, G. E., y P. A. Sánchez. 1971a. Factores que afectan la eficiencia de utilización del nitrógeno por el cultivo del arroz bajo riego intermitente en la Costa del Peru. Progr. Nac. Arroz. Inf. Tec. 50. 51 pp.

Ramírez, G. E. y P. A. Sánchez. 1971b. Experimentos de agronomía en Lambayeque. Datos no publicados. Programa Nacional de Arroz, Lambayeque, Peru.

Redman, F. H., and W. H. Patrick, Jr. 1965. Effect of submergence on several biological and chemical soil properties. La. State Univ. Bull. 592.

Sanchez, P. A. 1968. Rice performance under puddled and granulated soil cropping systems in Southeast Asia. Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, N. Y. 381 pp.

Sánchez, P. A. 1969a. Influencia de los factores climáticos en el cultivo de arroz en el Peru. En: Curso de Capacitación sobre el Cultivo de Arroz, Programa Nacional de Arroz, Lambayeque, Perú. pp. 189-216.

Sanchez, P. A. 1969b. Present status of rice research in Peru. North Carolina State University Agricultural Mission to Peru. Report No. 371. 20 pp.

Sánchez, P. A., y A. Delgado. 1969. Propiedades de suelos en relación al cultivo del arroz bajo condiciones peruanas. En: Curso de Capacitación sobre el Cultivo del Arroz, Programa Nacional de Arroz, Lambayeque, Peru. pp. 217-254.

Sánchez, P. A., y M. V. Calderón. 1970. Epocas de aplicación de nitrógeno en sistemas de transplante y siembra directa en la costa norte del Peru. Progr. Nac. Arroz. Inf. Tec. 17. 30 pp.

Sánchez, P. A., and M. V. Calderón. 1971. Timing of nitrogen applications of rice grown under intermittent flooding in the Coast of Peru. Int. Symposium Soil Fert. Evaluation Proc. 1:595-602.

Sanchez, P. A., G. E. Ramirez, and M. V. Calderon. 1970. Nitrogen responses to rice under high solar radiation conditions in the North Coast of Peru. Agronomy Abs. 1970:127.

Sims, J. L., J. P. Wells, and D. L. Tackett. 1967a. Predicting nitrogen availability to rice. I. Comparison of methods of determining available nitrogen to rice from field and reservoir soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:672-675.

Sims, J. L., V. L. Hall, and T. H. Johnston. 1967b. Timing of N. fertilization of rice. I. Effects of applications near midseason and varietal performance. Agron. J. 59:63-66.

Tanaka, A. 1965. Examples of plant performance. In IRRI: The Mineral Nutrition of the Rice Plant. Johns Hopkins Press, Baltimore. pp 37-52.

Tanaka, A., and B. Vergara. 1967. Growth habit and ripening of rice plants in relation to the environmental conditions in the Far East. International Rice Commission Newsletter Special Issue. pp. 26-42.

Tanaka, A., S. A. Navasero, C. V. Garcia, F. T. Parao, and E. Ramirez. 1964. Growth habit of the rice plant in the tropics and its effect on nitrogen response. IRRI Tech. Bull. 3. 80 pp.

Ten Have, H. 1971. Experiments with sulphur-coated urea at Rajendranagar during the Rabi 1969-70 and Kharif 1970. Unpublished paper presented at the Advisory Committee on Rice Fertilization Meeting. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama.

Villegas, L. M., and R. Feuer. 1970. Response of "lowland rice" to fertilization in the Philippines. In: Rice Production Manual, Second Edition, University of the Philippines, College of Agriculture, Los Baños, pp. 346-355.

Westfall, D. G. 1969. The efficiency of applied N in rice-producing soils. Rice J. 72(7):66-67.

Yoder, R. E. 1936. A direct method of aggregate analyses of soils and a study of the physical nature of erosion losses. J. Amer. Soc. Agron. 20:337-351.

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT
WASHINGTON, D. C. 20523

BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET

FOR AID USE ONLY

1. SUBJECT CLASSIFICATION

A. PRIMARY: Agriculture — AF25-0000-GG50

B. SECONDARY: Soil fertility,fertilizers,and plant nutrition--Tropics

2. TITLE AND SUBTITLE

Nitrogen fertilization and management in tropical rice

3. AUTHOR(S)

Sanchez,P.A.

4. DOCUMENT DATE	5. NUMBER OF PAGES	6. ARC NUMBER
1972	77p.	ARC 18.S211

7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS

N.C.State

8. SUPPLEMENTARY NOTES *(Sponsoring Organization, Publishers, Availability)*

(English and Spanish)
(In N.C.Agr.Exp.Station technical bul.no.213; and Suelos ecuatoriales,v.4,no.1, p.197-240)

9. ABSTRACT

10. CONTROL NUMBER	11. PRICE OF DOCUMENT
PN-RAA- 309	

12. DESCRIPTORS

Nitrogen
Rice
Tropics

13. PROJECT NUMBER

14. CONTRACT NUMBER

CSD-2806 Res.

15. TYPE OF DOCUMENT

AID 590-1 (4-74)

FERTILIZACION Y MANEJO DEL NITROGENO EN EL CULTIVO DEL ARROZ TROPICAL *

PEDRO A. SANCHEZ **

INTRODUCCION

El arroz, debido a ser capaz de oxidar su rizosfera, es el único cultivo de importancia que puede desarrollarse en suelos inundados durante todo o parte de su período vegetativo. El arroz responde casi universalmente a aplicaciones de nitrógeno y con menor frecuencia a otros elementos. La inundación desencadena una serie de cambios físicos y químicos que hace que las interacciones entre el nitrógeno y el arroz sean completamente diferentes a las de otros cultivos El propósito de este trabajo es resumir los conocimientos actuales sobre la teoría y práctica del abonamiento nitrogenado en el cultivo de arroz en los trópicos

1 CARACTERISTICAS DEL NITROGENO EN SUELOS ARROCEROS

1.1 Efectos de la inundación constante

Cuando un suelo bien seco se inunda rápida y totalmente los agregados estructurales se saturan con agua, el aire atrapado en los poros

---

* Contribución del Departamento de Suelos de la Universidad del Estado de Carolina del Norte, Raleigh, C N.EE.UU.

** Profesor Asistente, Departamento de Suelos, Universidad del Estado de Carolina del Norte, Raleigh, C. N. EE.UU.

Suelo Ecuatoriano 4(1): 197 - 239. 1972

se comprime y causa que los terrones se desmoronen (59) Los poros quedan saturados con agua y arcillas de tipo 2 1 se expanden La percolación disminuye a una tercera o quinta parte de lo original en campos de arroz cultivados durante varios años (29)

La disponibilidad de oxígeno baja a cero en menos de un día de inundación La tasa de difusión del oxígeno atmosférico a través del agua es 10 000 veces menor que en la ausencia del agua .Los microorganismos aeróbicos consumen rápidamente el oxígeno remánente se vuelven latentes o mueren Los microorganismos anaeróbicos se multiplican rápidamente y se hacen cargo de la descomposición de la materia orgánica, utilizando en vez de oxígeno componentes oxidados del suelo como aceptadores de electrones Estos productos son reducidos en la siguiente secuencia termodinámica nitratos, óxidos mangánicos óxidos e hidróxidos férricos varios productos intermedios de la descomposición de materia orgánica sulfatos anhídrido carbónico y tal vez fosfatos El proceso de reducción se intensifica cuando existe gran cantidad de materia orgánica de fácil descomposición el substrato de los microorganismos y altas temperaturas del suelo La intensidad de la reducción del suelo medida por el descenso del potencial de oxidación-reducción (Eh) llega a valores máximos a las dos o cuatro semanas después de la inundación, y baja gradualmente después.

El proceso de reducción del suelo causa una serie de cambios químicos Cualquiera que sea el pH original, suelos inundados llegan y mantienen un pH de equilibrio entre 6,5 a 7,0 en aproximadamente tres semanas (Fig. 1) El pH aumenta en suelos ácidos debido a la reducción de hidróxidos férricos y óxidos mangánicos, proceso que libera iones OH El pH baja en suelos alcalinos debido al aumento de la presión parcial de CO_2.

Los nitratos presentes en el suelo son reducidos a gases de N_2 y N_2O los cuales escapan a la atmósfera La mineralización del nitrógeno orgánico procede solamente hasta la producción de NH_4^+, el cual es estable bajo condiciones reducidas y tiende a acumularse en suelos inundados (Fig. 2). La concentración de otros elementos en la solución del suelo tales como P, Fe^{++}, Mn^{++} y Si aumenta con la inundación, alcanza valores máximos durante el primer mes y baja gradualmente después. Aunque estos cambios son generalmente beneficiosos para el arroz, excesiva producción de Fe y Mn pueden causar toxicidad en ciertos casos

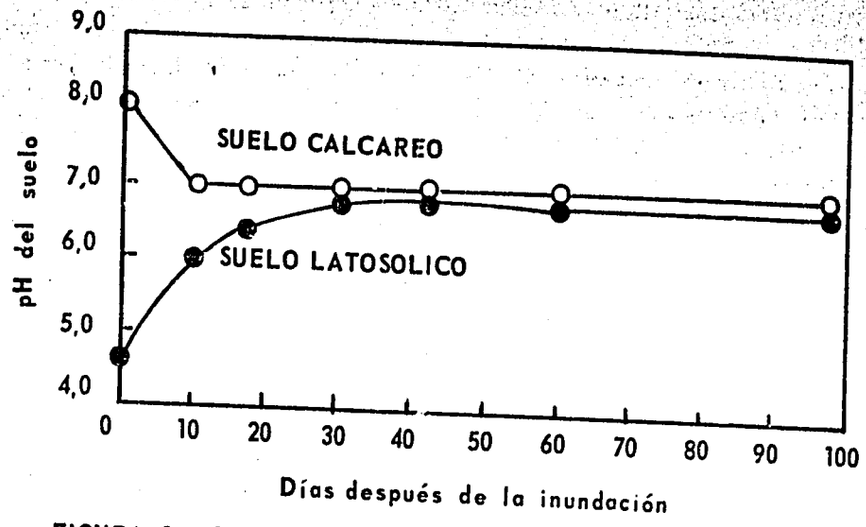


FIGURA 1 Cambios del pH de dos suelos bajo inundación constante (Sánchez y Delgado (47))

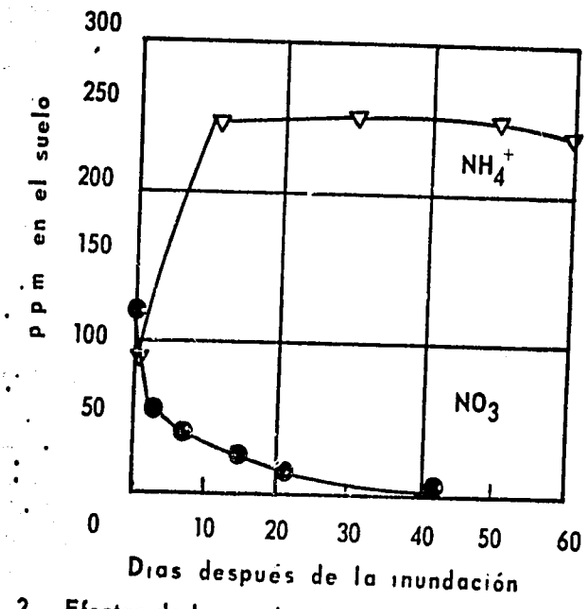


FIGURA 2 Efectos de la inundación constante en la concentración de iones amonio y nitratos (Sánchez y Delgado (47))

Altas concentraciones de estos elementos a veces desplazan cationes no reducibles como K^+, Ca^{++} Mg^{++} y Na^+ hacia la solución del suelo La conductividad eléctrica en suelos no salinos aumenta a valores de 2 a 4 mmho/cm La presión parcial del CO_2 también aumenta llega de 0,2 a 0,8 atmósferas en dos o cuatro semanas y después disminuye gradualmente Estas generalizaciones han sido tomadas de un resumen de Sánchez (44); los trabajos de Ponnamperuma (37, 38), Redman y Patrick (43) y Mikklesen y Evatt (28) discuten los efectos de reducción en más detalle.

El perfil de un suelo inundado no está íntegramente reducido. Existen varias zonas de oxidación en las cuales los procesos anteriormente descritos no ocurren (Fig 3)

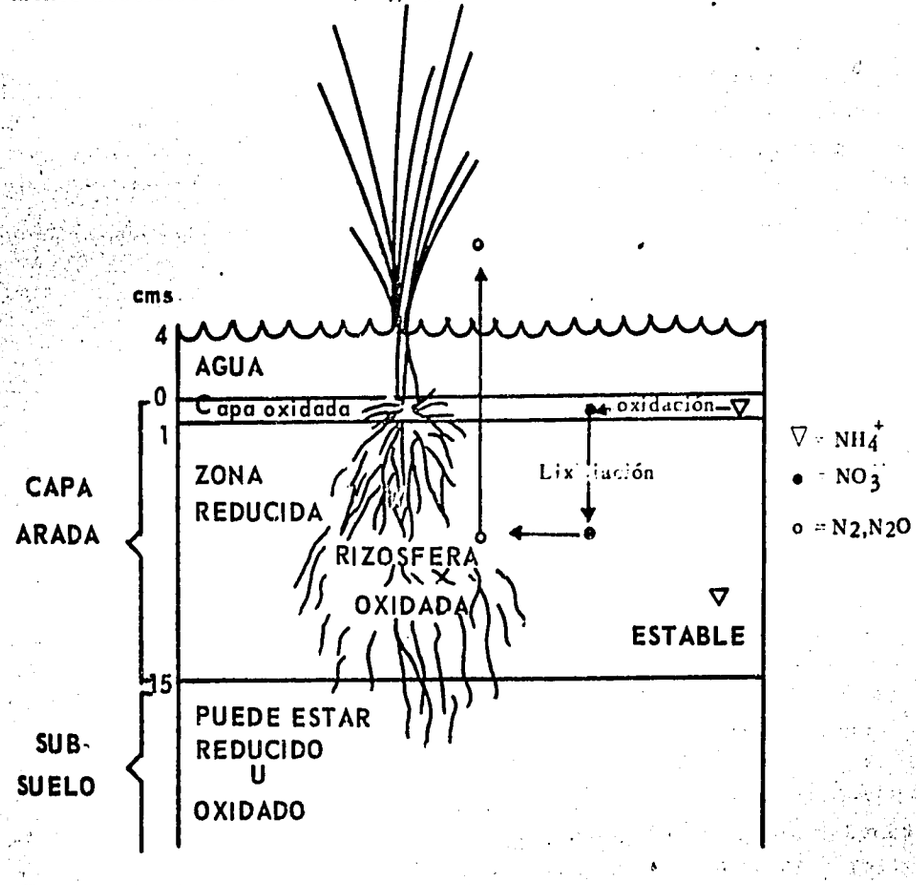


FIGURA 3. Capas reducidas y oxidadas en un suelo bajo inundación constante y sus cambios de nitrógeno

Una capa superficial de menos de 1 cm de espesor se mantiene oxidada debido a estar en equilirbio con el oxígeno disuelto en el agua. La rizosfera de raíces activas también está oxidada, lo cual puede ser reconocido visualmente por un color amarillo rojizo producto de la precipitación de compuestos férricos El subsuelo puede estar reducido pero con menor intensidad que la capa superficial debido al bajo contenido de materia orgánica o puede estar oxidado cuando la capa arable está batida y la napa freática profunda La Fig 3 ilustra la necesidad de usar fuentes amoniacales de nitrógeno incorporadas en la capa reducida ya que aplicaciones de nitratos o aplicaciones de amonio en la capa superficial oxidada pueden causar serias pérdidas por desnitrificación

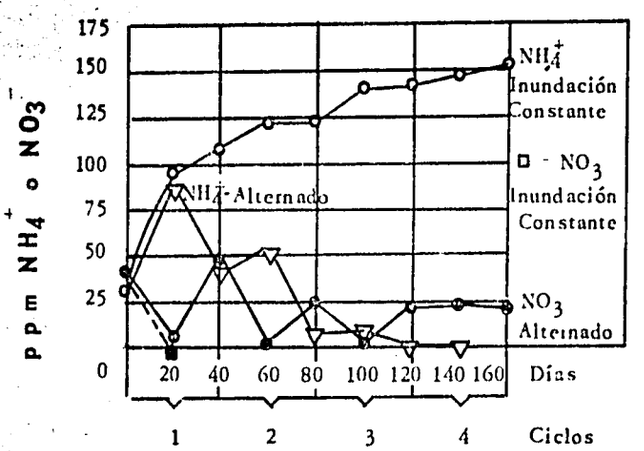
1 2 Efectos de la inundación intermitente

La mayoría de los suelos arroceros en los trópicos sufren de condiciones alternas de reducción y oxidación causadas por períodos de inundación y sequías debido a una deficiente distribución de riegos o más comúnmente la ausencia de riegos y variabilidad de la precipitación pluvial Más de las 2/3 partes del arroz trasplantado en Asia carece de riego controlado y por lo tanto de inundación constante El sistema de secano que predomina en la América Latina también presenta condiciones alternas causadas, por inundación debido a fuertes lluvias y períodos de sequía Las pérdidas de N bajo estas condiciones son muy grandes (Fig 4) Un ciclo vicioso aparece en el cual todos los nitratos presentes antes de la inundación se pierden en menos de 10 días (33) La concentración de amonio aumenta mientras que el suelo está reducido pero se convierte en nitratos cuando el suelo se airea y oxida Estos nitratos son desnitrificados durante la siguiente inundación Las pérdidas son más grandes durante los primeros ciclos, disminuyendo en intensidad después El arroz utiliza indiscriminadamente iones NH_4^+ o NO_3 (55); el problema es la disponibilidad de estas formas bajo condiciones alternas de oxidación y reducción

1 3 Efectos de batido

Casi todos los suelos inundados sufren cierto grado de batido, o sea la transformación de la estructura del suelo en un barro uniforme con las partículas de arcilla orientadas paralelamente y los poros saturados de agua El batido se realiza intencionalmente al rastrear suelos inundados en el Asia y no intencionalmente con el pisoteo de trabajadores durante el trasplante deshierbas y otras prácticas culturales El

efecto principal del batido es la disminución del movimiento de agua a través del suelo. La percolación disminuye en varios órdenes de magnitud (44), así como las pérdidas por evaporación (7), El suelo se seca mucho más lentamente y puede mantener condiciones de reducción sin necesidad de estar inundado durante varias semanas (2,5) La influencia del batido, por lo tanto, es muy profunda en el comportamiento del nitrógeno Aunque el proceso del batido en sí no aumenta la absorción del nitrógeno por el arroz, ni la mineralización del nitrógeno orgánico, el menor movimiento de agua puede aumentar significativamente la eficiencia del nitrógeno aplicado debido a menores pérdidas por lixiviación en suelos inundados (44) y tal vez reduzca los efectos detrimentales del riego intermitente al mantener el suelo reducido durante más tiempo



Ciclos alternos de inundación y seca

FIGURA 4 **Efectos de inundación constante e intermitente en la producción de NH_4^+ y NO_3 bajo condiciones de laboratorio Inundación cada 42 días (Adaptado de Patrick y Wyatt (33))**

2. LA RESPUESTA AL NITROGENO Y FACTORES QUE LA AFECTAN

Un resumen de varios miles de experimentos de fertilización de arroz efectuados por Doyle (16), indica que este cultivo responde casi universalmente a aplicaciones de N, excepto en aquellos casos donde el suelo está extremadamente bien suministrado de N orgánico fresco. Las respuestas al N fueron en muchos casos negativas, pero la correlación lineal obtenida (Fig. 5) indica un promedio mundial de incremento de 12,7 kg. de arroz cáscara por cada kg. de arroz aplicado. La variabilidad en ambos ejes de las curvas de respuesta es grande y está afectada principalmente por los siguientes factores: tipo de planta de arroz, radiación solar, manejo de agua, prácticas culturales y tipo de suelo. Respuestas representativas de varios países con tipos de planta tradicional (Fig. 6) ilustran la gran variabilidad existente y divide el tipo de respuesta en dos categorías Los principales países arroceros tales como China, India, Indonesia, Tailanda, Brasil y otros poseen pendientes de respuesta moderada con bajos niveles de rendimiento y N aplicado, estando los niveles óptimos entre 30 y 50 kg.N/ha. En muchos casos se encuentran respuestas negativas, razón por la cual no se ensayaban dosis de N elevadas. El segundo grupo, representado por zonas arroceras fuera de los trópicos húmedos (Australia, Egipto, Mali, Estados Unidos y Perú), poseen curvas de incremento pronunciadas, rendimientos y dosis de N óptimas generalmente más altas que el grupo anterior.

Los países con bajas respuestas se caracterizaban por utilizar variedades de estatura alta y escaso manejo de agua. En Australia y los Estados Unidos, así como en Japón y Formosa, las altas respuestas obtenidas se deben al uso de variedades de moderada resistencia a la caída y un manejo de agua y del cultivo excelente. En países como Egipto, Mali y el Perú en donde las variedades, prácticas culturales y manejo de agua no están tan avanzados, las altas respuestas se deben probablemente a condiciones climáticas muy favorables. Esta situación sugería que el potencial del abonamiento nitrogenado para el arroz en los trópicos húmedos no podía compararse con lo obtenido en otras zonas. La introducción de un nuevo tipo de planta para los trópicos por el Instituto Internacional de Investigaciones Arroceras (IRRI) en 1966 ha cambiado completamente este concepto.

2 1 Tipo de planta

La variedad IR8 es el prototipo del nuevo tipo de planta de arroz tropical. Se caracteriza por su estatura baja alta capacidad de macollamiento tallos y hojas fuertes y erectas alta relación grano paja y resistencia a la caída o enviciamiento con altas dosis de nitrógeno Los tipos de planta tradicionales son de vigoroso crecimiento, pero de alta estatura baja capacidad de macollamiento tallos y hojas débiles y baja relación grano : paja Estas variedades responden al nitrógeno aumentando su estatura lo cual provoca la caída y por consiguiente menores rendimientos con dosis altas de nitrógeno (13 53), lo que es una desventaja.

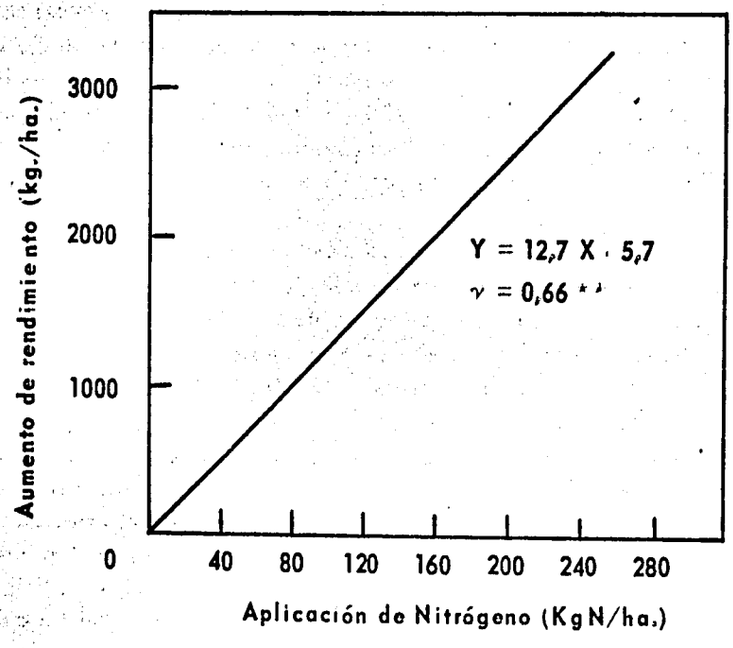


FIGURA 5. Correlación mundial entre la respuesta y dosis de aplicación de N en el arroz basada en 385 respuestas en 20 países (Doyle (16)).

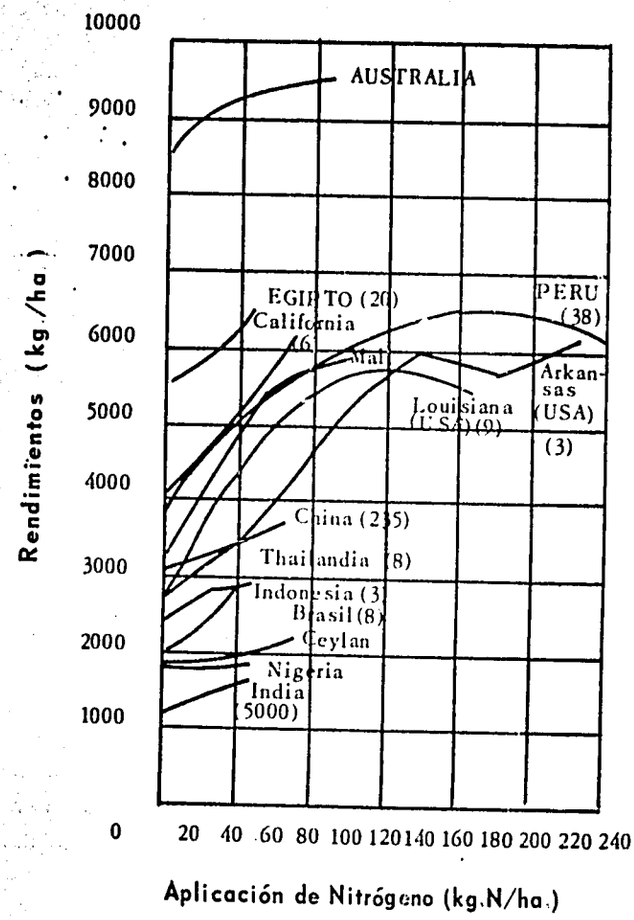


FIGURA 6. Respuestas representativas del arroz al N en diferentes países. Número de experimentos en paréntesis cuando la literatura lo especifica. Fuentes: Doyle (16), Oliveira et al. (31-32), Mikklesen y Patrick (29) y Carmen (8).

Las figuras 7, 8 y 9, ilustran las diferencias entre respuesta de tipos de planta baja (variedades IR) y tradicionales en condiciones de transplante e inundación constante, secado y transplante e inundación intermitente. Las respuestas negativas de las variedades tradicionales se deben a las consecuencias de la tumbada.

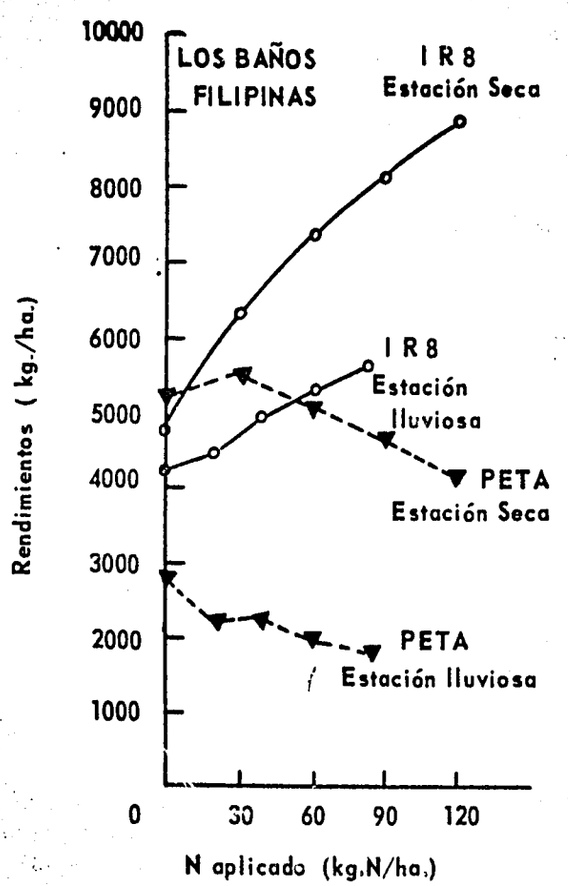


FIGURA 7. Respuesta de dos tipos de planta durante estaciones con diferente radiación solar en Los Baños, Filipinas Sistema de trasplante bajo inundación constante Promedio de 3 años (De Datta(9)).

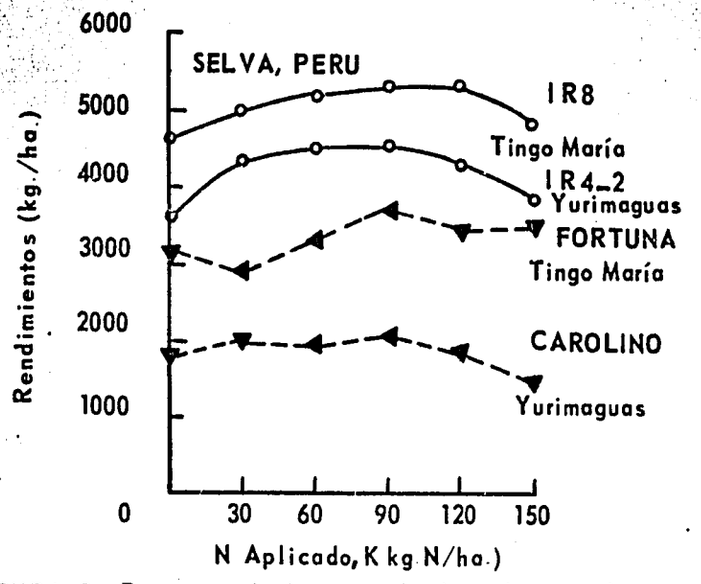


FIGURA 8. Respuesta de dos tipos de planta bajo condiciones de secano en dos localidades de la Selva Peruana (Kawano et al. (25)).

Las diferencias entre tipos de planta en relación a varias características agronómicas aparecen en las Figs 10 a 14, basadas en una comparación entre IR8 y la variedad tradicional Minabir en el Perú utilizando altas dosis de N (48) Puede notarse que la estatura de Minabir aumenta considerablemente con el abonamiento mientras que la de IR8 muy poco. En otro estudio, se obtuvo una estrecha correlación negativa entre la estatura de variedades y sus rendimientos (14) Pese a las altas dosis empleadas ambos tipos de planta no sufren cambios fuertes en su duración de crecimiento (Fig 10) ni en su asimilación de N (Fig 11) Entre los tres componentes de rendimiento el número de panojas por unidad de área está más relacionado con aumentos de rendimiento en IR8 que el número de granos enteros por panoja o el peso de 100 granos (Fig 13) Los cambios de rendimiento de la variedad Minabir 2 están relacionados con el número de panojas pero también con el número de granos por panoja (Fig.14). Esto indica que las nuevas variedades responden principalmente aumentando el número de panojas por medio de más macollaje, mientras que las tradicionales responden no sólo en número de panojas sino en la cantidad de granos fértiles por panoja Las diferencias entre tipo de planta pueden

ser resumidas en la Fig 12 la cual ilustra la proporción de grano y paja producida a la cosecha.

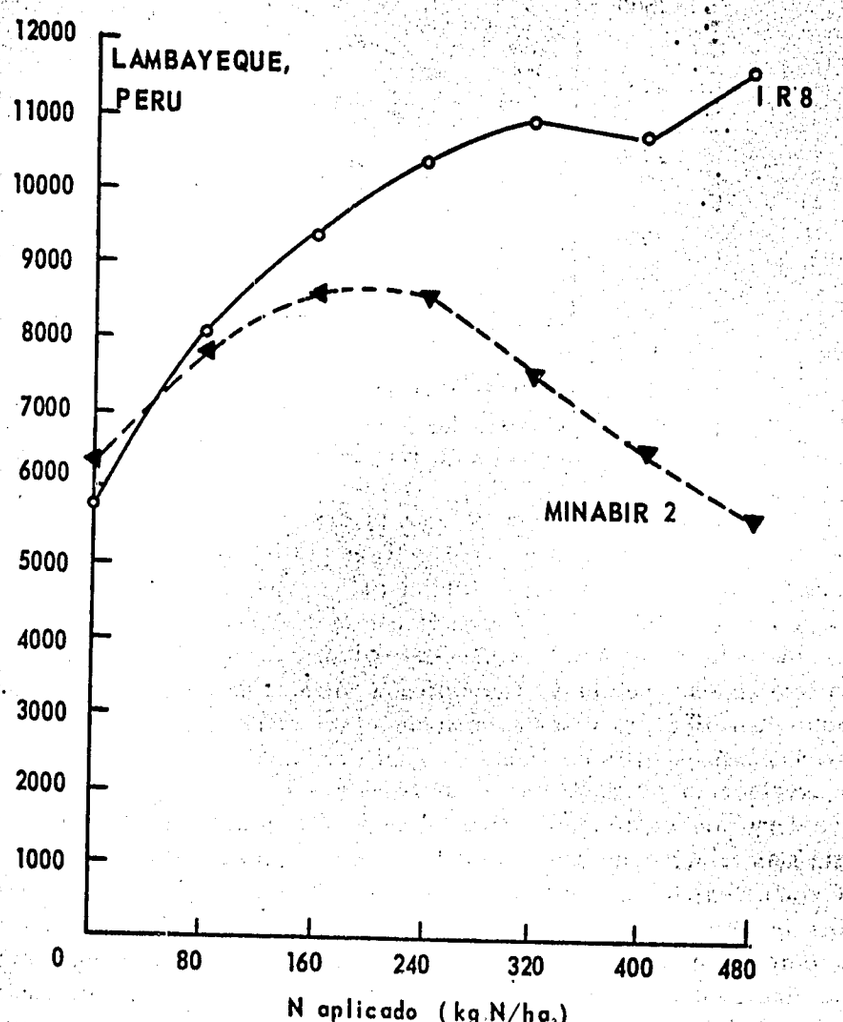


FIGURA 9. Respuestas de dos tipos de planta bajo condiciones de alta radiación solar en Lambayeque, Perú. Promedio de 10 experimentos 1968 71.

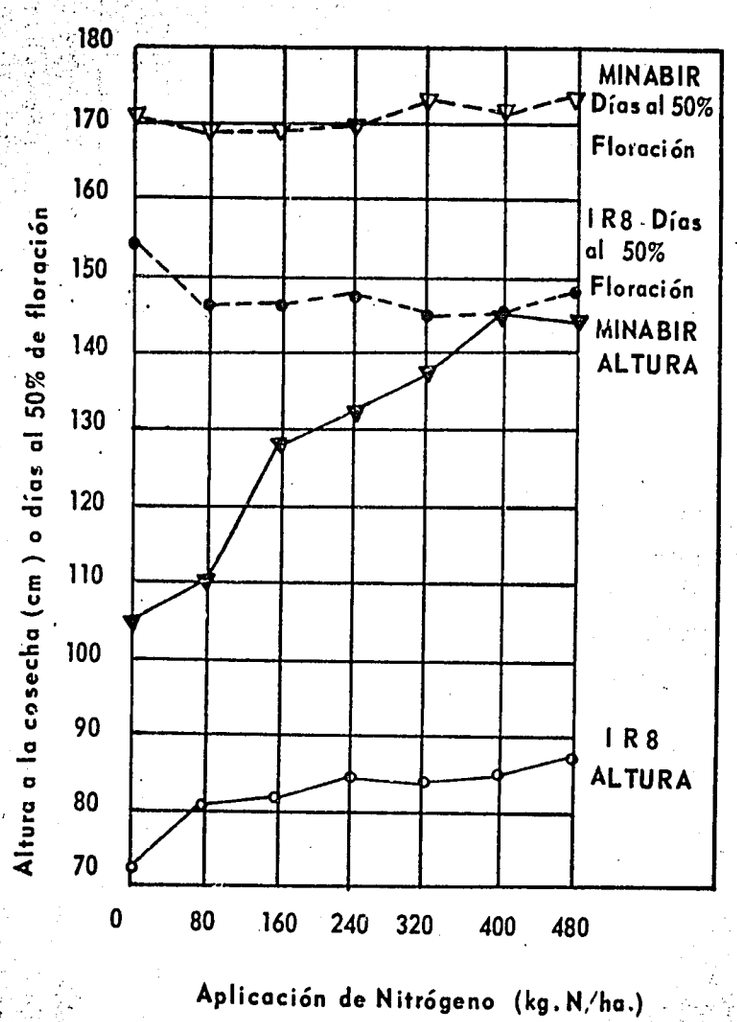


FIGURA 10. Influencia del nitrógeno en la altura y período vegetativo de dos tipos de planta en Lambayeque, Perú.

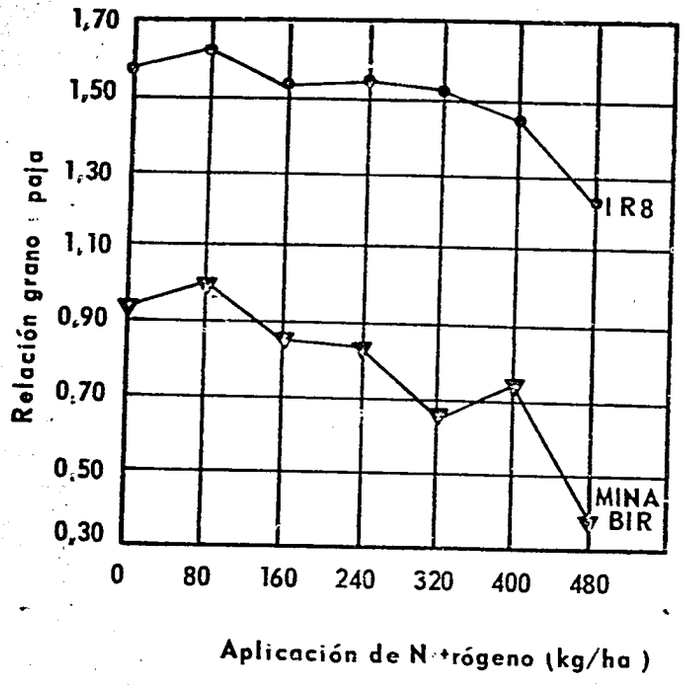


FIGURA 12. Relación grano : paja a la cosecha en función de dosis de N en dos tipos de planta. Lambayeque, Perú

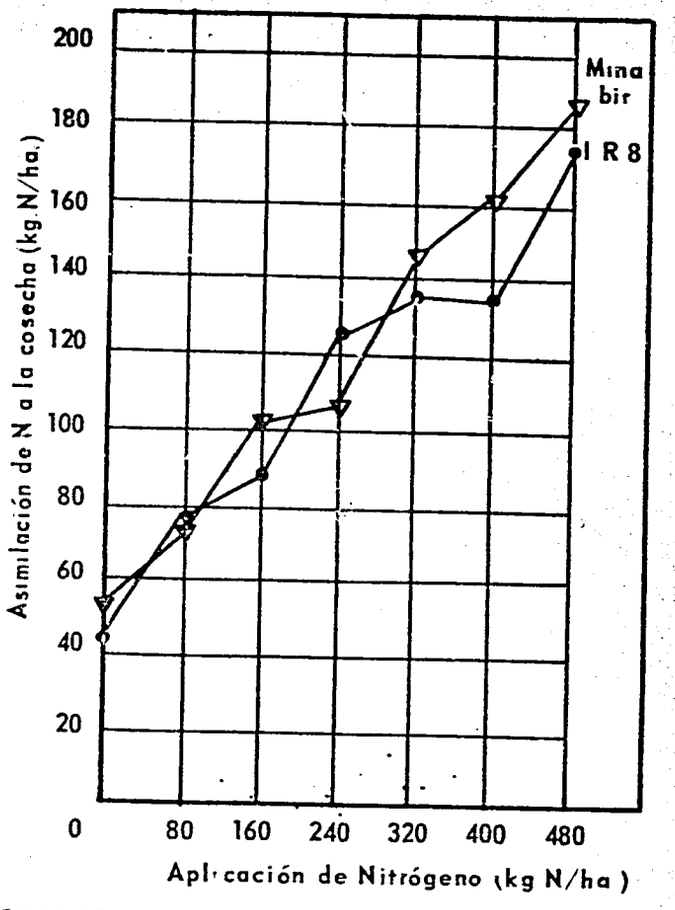


FIGURA 11 Asimilación de N de dos tipos de planta contrastante en Lambayeque Perú.

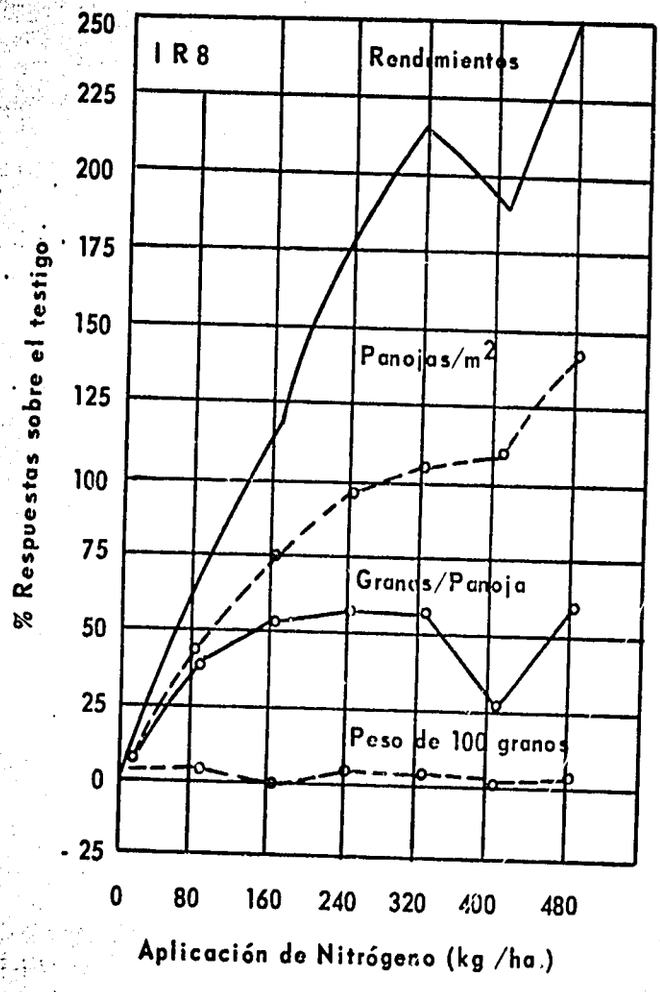


FIGURA 13. Respuestas relativas de rendimiento y sus componentes en la variedad IR8 en Lambayeque, Perú.

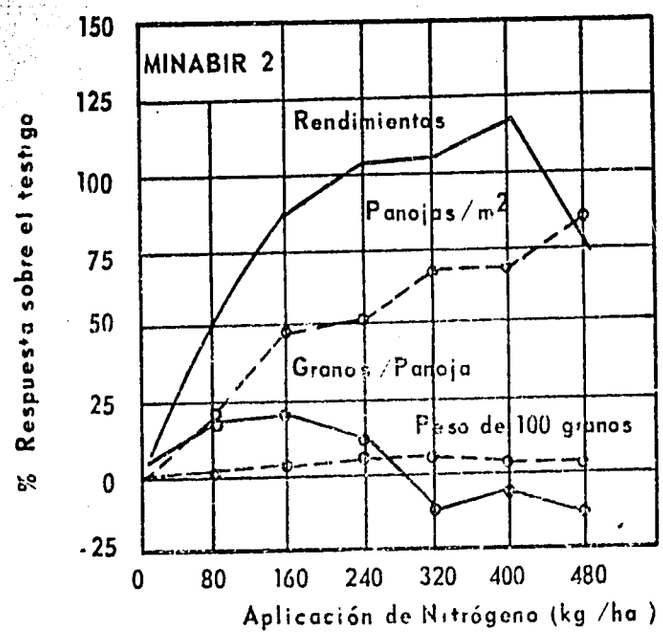


FIGURA 14 Respuestas relativas de rendimiento y sus componentes en la variedad IR8 en Lambayeque, Perú

2 2 Radiación solar

La influencia de las estaciones secas y lluviosas en arroz bajo riego ilustradas en la Fig 7, se deben principalmente a diferencias de radiación solar, ya que otros factores climáticos y agronómicos no fluctúan considerablemente (9) La mayor radiación solar durante la estación seca proporciona más energía fotosintética permitiendo una mayor respuesta óptima al N y rendimientos en ambos tipos de planta, pero las respuestas son más altas en tipos de estatura baja La estación lluviosa debido a la alta nubosidad, proporciona menor radiación solar y por lo tanto menores rendimientos y respuestas óptimas de N La radiación solar durante la fase reproductiva está altamente correlacionada con rendimientos (11) La respuesta de N en arroz secano en la Selva peruana (Fig 8) es similar a la estación húmeda en Filipinas debido en parte a similares niveles de radiación solar Las altas respuestas en la costa del Perú (Fig 9) se deben a niveles muy altos de radiación solar, que

superan a los de la estación seca en Filipinas permitiendo altos rendimientos y respuestas óptimas con la variedad tradicional de 160 Kg N/ha (46). Las altas dosis empleadas se deben parcialmente al sistema de inundación intermitente típico de esta zona. La profunda influencia de la radiación solar en la respuesta del arroz al N es evidente en la Fig 15, ilustrando los cambios en la respuesta a diferentes niveles de radiación solar por medio de épocas de siembra (11).

2.3 Duración de crecimiento y temperaturas

En los trópicos se considera que el período vegetativo óptimo para variedades y prácticas culturales tradicionales es de 120 a 140 días desde la siembra a la cosecha (54), excluyendo así los bajos rendimientos producidos por variedades excesivamente precoces y aquéllas tardías debido a su fotosensitividad La variabilidad en variedades poco sensitivas al fotoperíodo es poca y no afecta la respuesta al nitrógeno excepto en variedades muy susceptibles a la caída en las cuales al alargarse el período vegetativo la estatura aumenta y por lo tanto bajan los rendimientos (11). Existen extensas áreas arroceras dentro de los trópicos en donde la baja temperatura es un factor limitante, debido a la elevación u otras condiciones climáticas (3, 4, 45) Se considera que temperaturas medias mensuales menores de 21º C son limitantes para el arroz (45) Las bajas temperaturas normalmente prolongan el período vegetativo, llegando a obtenerse rendimientos máximos entre 160 y 180 días de duración en la Costa del Perú (24). Estos autores observaron que variedades más precoces producen menos materia seca mientras que las más tardías producen baja relación grano paja debido parcialmente a un alto porcentaje de granos estériles causado por bajas temperaturas La respuesta al N en condiciones limitantes de baja temperatura varía considerablemente con el período vegetativo de la variedad (Fig 16) y la época de siembra (Fig 17). Las variedades con períodos vegetativos óptimos responden positivamente a altas dosis, siendo la influencia del tipo de planta casi nula hasta niveles de 320 kg N/ha A mayores dosis de tipo de planta alta, CEL895, baja de rendimiento mientras que la IR8 continúa incrementándolo Tanto las variedades más precoces o más tardías que el óptimo establecido por Kawano y otros (24), responden con menos intensidad siendo la influencia del tipo de planta bien marcada. A medida que se atrasa la época de siembra desde octubre a enero, aumenta la posibilidad de mayor esterilidad causada por bajas temperaturas al estado de floración. La Fig. 17 ilustra las menores respuestas con atrasos llegados en ambos tipos de plantas a un completo envanamiento y rendimientos menores a 100 kg./ha en la siembra de enero.

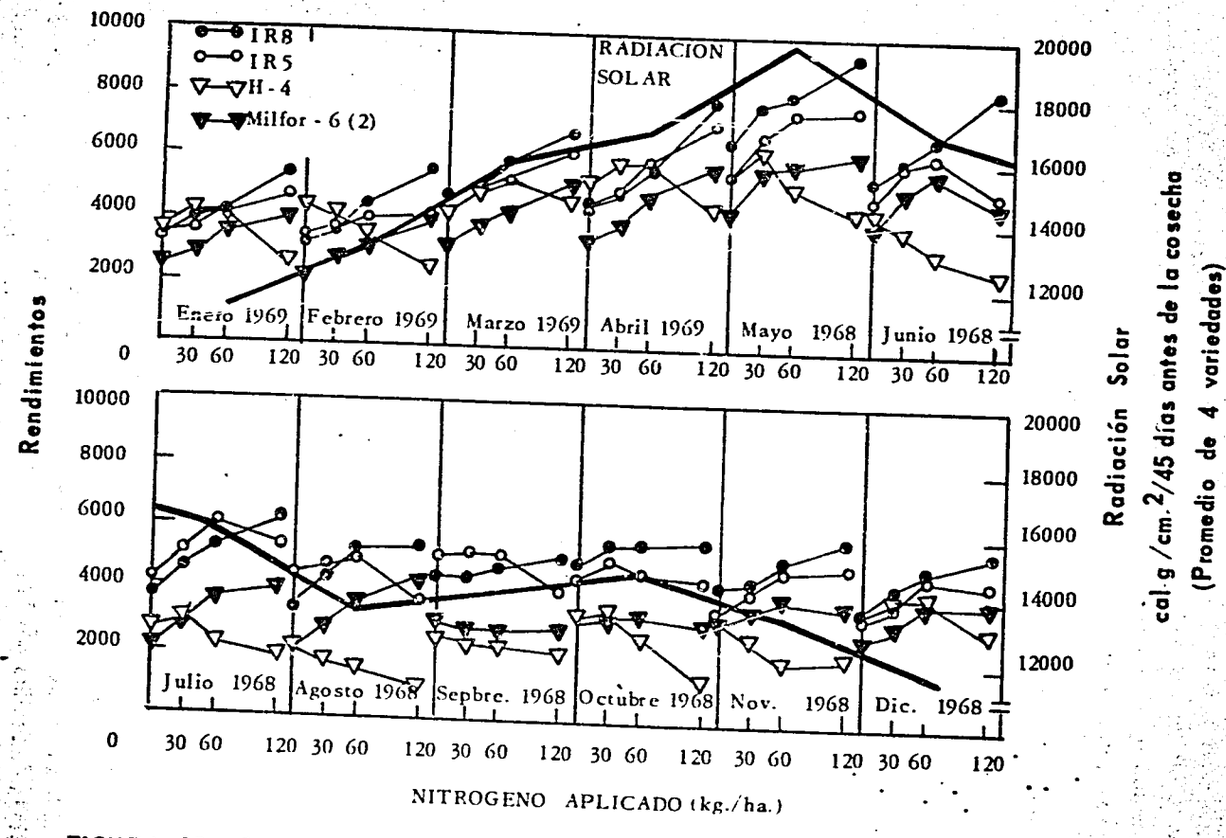


FIGURA 15 Respuesta varietal a niveles de nitrógeno de diferentes tipos de planta en función de su mes de cosecha y la radiación total durante los últimos 45 días Sistema de trasplante e inundación (De Datta y Zárate (11))

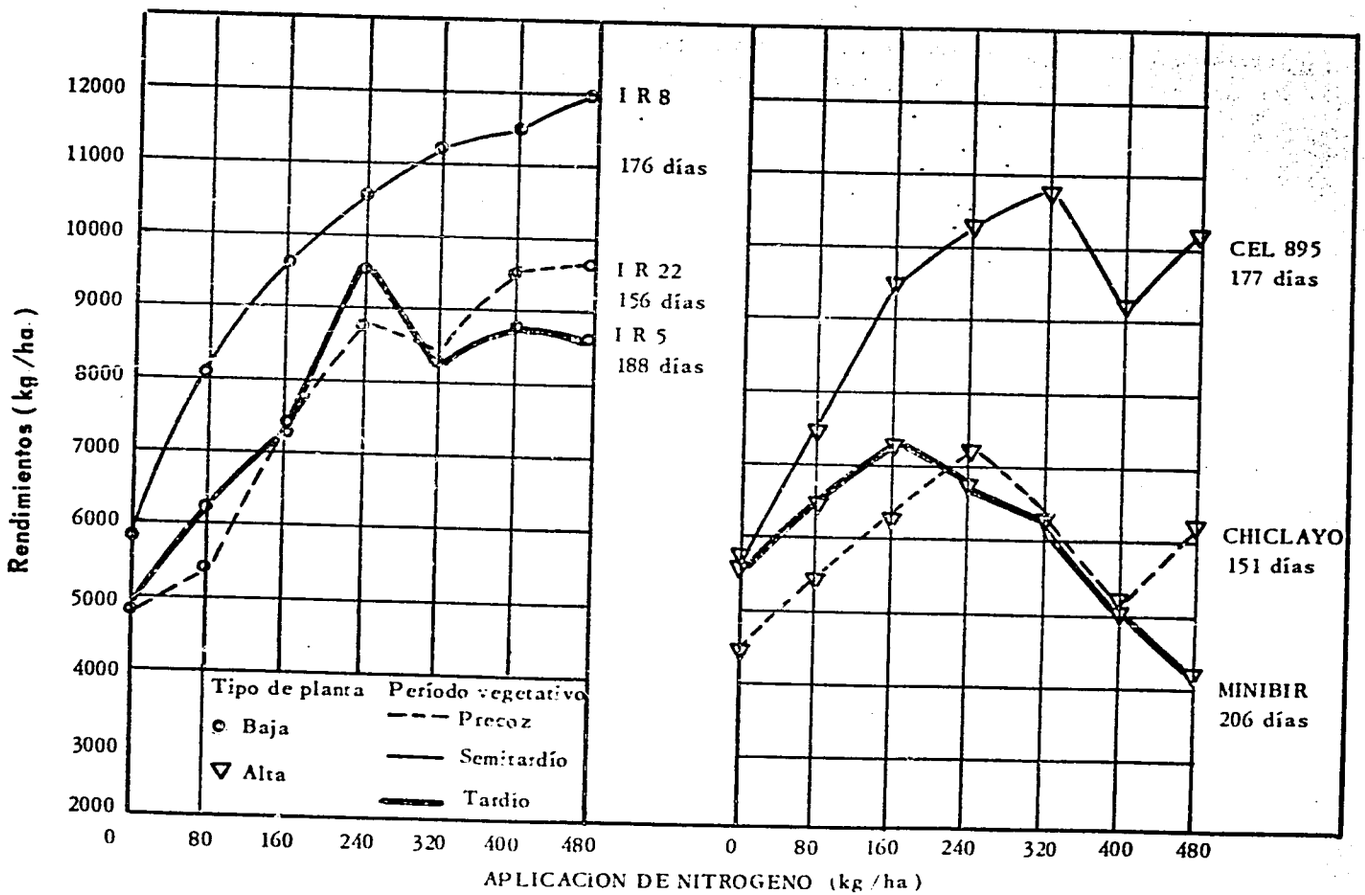


FIGURA 16 Influencia del tipo de planta y período vegetativo en la respuesta al nitrógeno bajo condiciones de baja temperatura, alta radiación solar e inundación intermitente en sistemas de trasplante Lambayeque Perú (Ramírez y Sánchez (42))

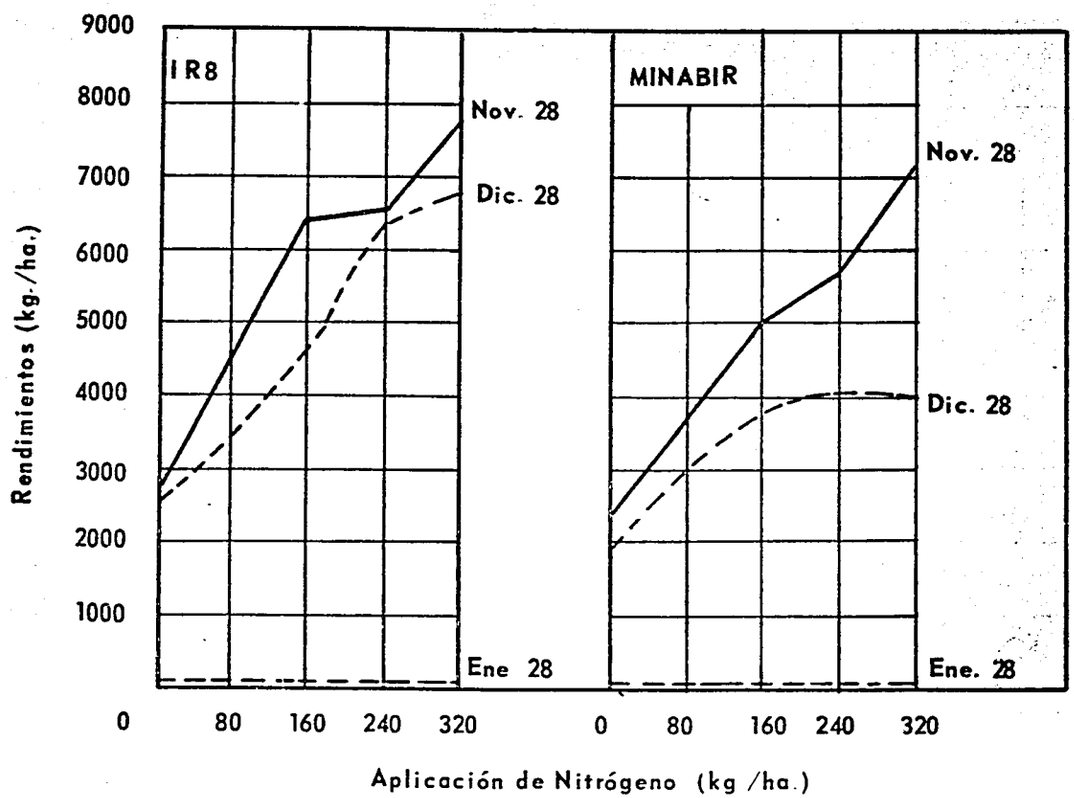


FIGURA 17 Influencia de la época de siembra en la respuesta al N de variedades de diferente tipo de planta y período vegetativo en Lambayeque, Perú. (Ramírez y Sánchez (40))

2.4 Manejo del agua

Debido a las tremendas pérdidas de nitrógeno causadas por ciclos alternos de inundación y sequía, la respuesta al nitrógeno bajo estas condiciones es menor que bajo inundación constante. Estudios al respecto efectuados en los Estados Unidos (Fig. 18) y la India (Fig. 19) indican que la inundación intermitente produce curvas más bajas pero paralelas a la inundación constante, lo cual sugiere que los niveles óptimos de N son los mismos pero debido a las pérdidas los rendimientos son inferiores. Un ensayo preliminar en el Perú (Fig. 20) sugiere que existen diferencias varietales considerables, siendo la variedad IR8 menos afectada por riego intermitente que la variedad tradicional Minabir 2. Esta última fue fuertemente atacada por Pyricularia oryzae, enfermedad que es más severa bajo condiciones de falta de agua. Recientemente Nicou y otros (30) indicaron que la variedad IR8 posee más ramificación radical que otras bajo condiciones de secano en Africa. Es necesario profundizar este tipo de estudios para poder caracterizar las posibles diferencias varietales y sus respuestas al N bajo condiciones diferentes de agua en este cultivo. En ninguno de los casos mencionados la tensión de humedad del suelo fue estudiada.

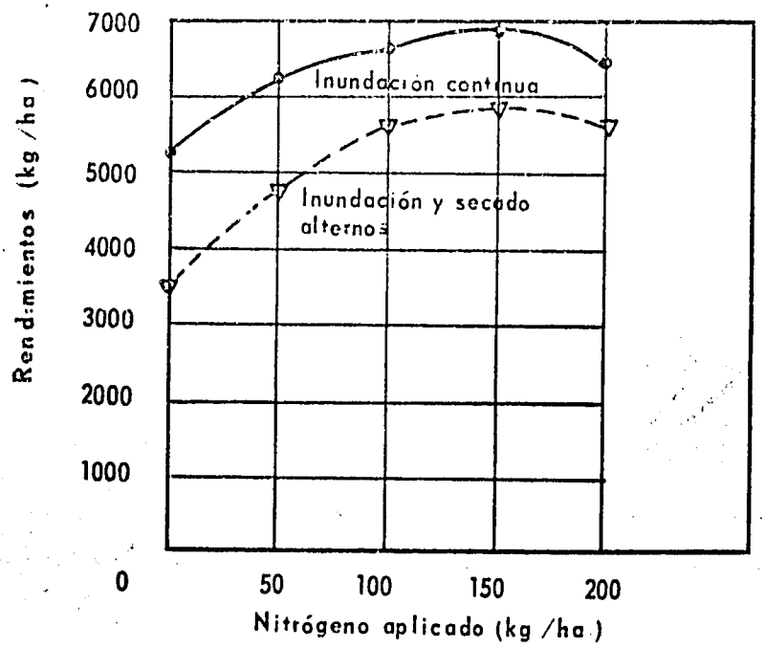


FIGURA 18 Efectos de manejo de agua en la respuesta al nitrógeno de la variedad Padma en Delhi, India (Adaptada de AICRIP (1))

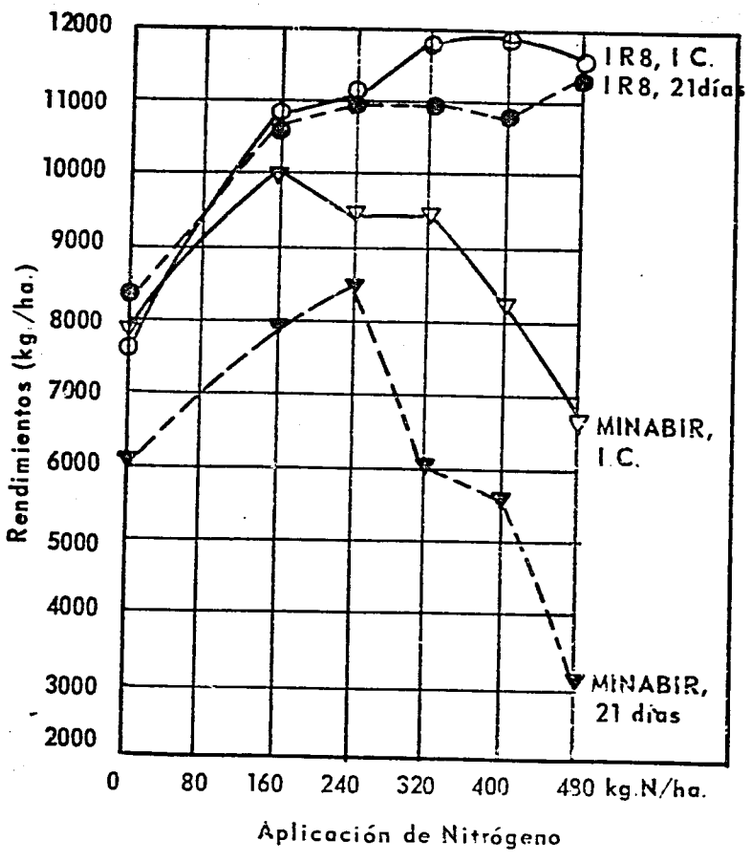


FIGURA 20. Efectos de inundación constante vs. inundación cada 21 días en la respuesta del N de dos variedades en Lambayeque, Perú (Ramírez y Sánchez (42)).

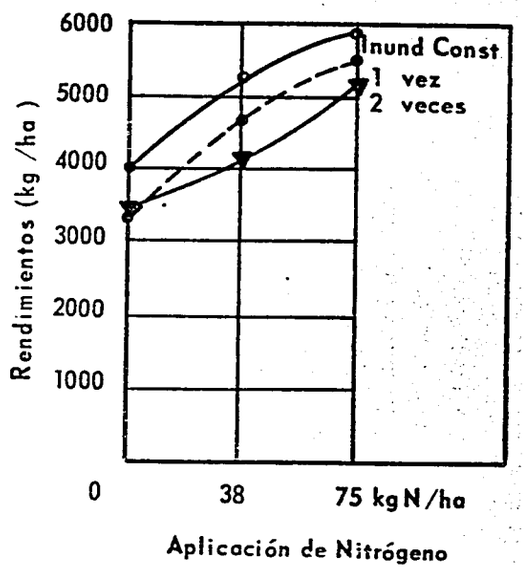


FIGURA 19. Influencia del número de operaciones de drenaje y subsiguiente inundación en la respuesta al N en Louisiana, U S A. (Promedio de 2 años; adaptado de Patrick et al (34)).

El sistema de secano (definido como la siembra directa de arroz en terrenos sin bordes para atrapar agua y dependiente exclusivamente de las lluvias para el suministro del agua) ocupa más del 75% del área arrocera en Latinoamerica (69) predomina en Africa y ocupa vastas áreas en Asia Recientes estudios han demostrado que los mismos conceptos sobre tipo de planta y radiación solar desarrollados bajo sistemas de riego, son aplicables a condiciones de secano y tanto los rendimientos obtenidos como la respuesta al nitrógeno son además afectados por la duración de períodos de escasez de agua (12) Jana y De Datta (22) determinaron que el arroz secano sufre por la falta de agua cuando la tensión de humedad del suelo está dentro del rango considerado como de disponibilidad adecuada para otros cultivos (entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento) El rango óptimo para arroz aparenta estar entre la capacidad de campo y la saturación no siendo necesaria la presencia de una capa de agua para obtener altos rendimientos (12)

Un experimento efectuado en Filipinas por Jana y De Datta (22), ilustra la influencia de escasez de agua y radiación solar (Fig 21) La

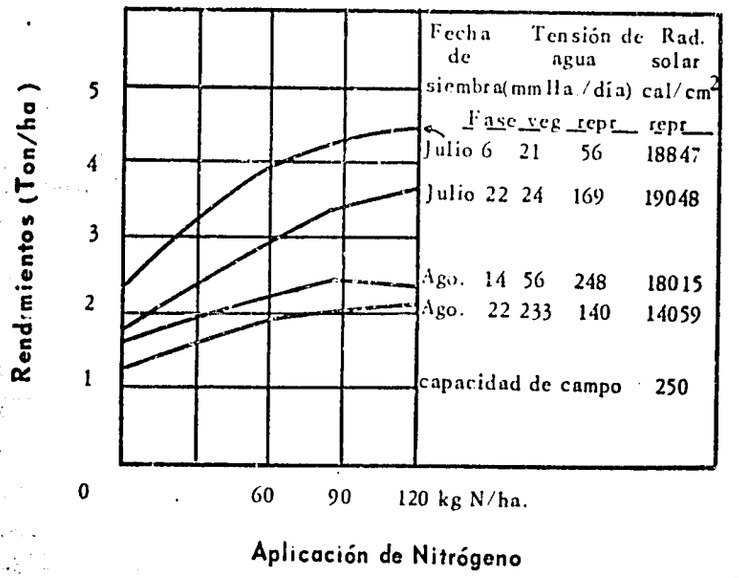


FIGURA 21 Influencia de las tensiones de agua del suelo a 20 cm y radiación solar en la respuesta varietal al N en condiciones de secano en Los Baños, Filipinas Promedio de 6 variedades IR (Adoptado de Jana y De Datta (22))

siembra del 6 de julio, no sufrió de falta de agua y la respuesta al N fue normal La siembra del 21 de julio produjo mejor respuesta debido a escasez de agua durante la etapa de maduración La siembra del 14 de agosto fue seriamente afectada por falta de agua durante la floración y la del 22 de agosto sufrió serias faltas de agua durante la fase vegetativa pero no en la reproductiva En ambos casos la respuesta fue muy baja Las diferencias entre las tres primeras siembras se deben exclusivamente a diferentes grados de escasez de agua ya que la radiación solar fue constante La siembra del 22 de agosto fue afectada por una inferior radiación solar Varios estudios sugieren que en precipitaciones anuales de 2 000 mm , la duración de los períodos de escasez de agua durante cualquier fase de crecimiento es el factor más crítico en el cultivo de secano (12)

2 5 Prácticas culturales

Debido a que la respuesta al N está íntimamente ligada con la capacidad de macollamiento en los trópicos (55), el manejo de la producción de macollas interacciona fuertemente con las dosis de N aplicadas y es afectado por el tipo de planta y niveles de radiación solar. Villegas y Feur (57) basándose en extensos resultados experimentales, recomiendan los siguientes distanciamientos para obtener las mejores respuestas al nitrógeno en Filipinas (Tabla 1)

TABLA 1. Distanciamiento entre plántulas recomendadas en Filipinas para máxima respuesta al N (cms)

Tipo de planta	Radiación solar	
	Baja (estación lluviosa)	Alta (estación seca)
Baja	25 x 25	20 x 20
Alta	35 x 35	30 x 30

Las plantas de alta estatura necesitan un distanciamiento óptimo más amplio para reducir los efectos detrimentales del sombrío mutuo y la caída Las plantas de estatura baja no presentan tendencia a la caída y

pueden utilizar la energía solar al máximo con distanciamientos más cerrados debido a tener sus hojas erectas En las situaciones climáticas con más alta radiación solar, ambos tipos de planta pueden sembrarse más cerca para aprovechar con más área foliar la mayor energía solar disponible En la mayoría de los campos arroceros visitados por el autor en Latinoamérica es evidente que los distanciamientos aparentan ser excesivamente amplios para obtener respuestas óptimas al N

Otras prácticas culturales que afectan la respuesta al N incluyen el control de plagas y malezas. En un estudio con tres diferentes grados de aplicación de herbicidas e insecticidas (20), se notó que la respuesta al N bajaba en forma paralela con menor control.

2.6 Propiedades del suelo

El arroz generalmente se siembra en suelos con bastante capacidad retentiva de agua ya sea debida a su textura, estructura o a la presencia de capas poco permeables en el subsuelo La capacidad de intercambiar cationes y la cantidad de N nativo disponibles son las características más importantes que afectan la respuesta al N Mientras mayor sea la capacidad de cambio mayor será la capacidad del suelo en suministrar y retener nutrimentos para el arroz (9, 57) La cantidad de N nativo disponible medida por los rendimientos sin aplicaciones de N, puede producir entre 1 y 9 ton /ha de arroz En algunos casos las grandes diferencias en fertilidad nativa tienden a disminuír a medida que se incrementa la dosis de N en condiciones similares de clima variedades y prácticas culturales (Fig 22) Deficiencias o toxicidades de otros nutrimentos y disturbios fisiológicos alteran las curvas de respuesta La influencia de salinidad del suelo en la India (Fig 23) simplemente baja las curvas de respuesta paralelamente.

2.7 Recomendación de dosis de N a los agricultores

Por lo expuesto anteriormente, es obvio que el desarrollo de recomendaciones económicamente realísticas de N para arroz es un problema más difícil que en otros cultivos. Análisis rutinario de suelos, principalmente determinaciones de materia orgánica o nitrógeno total, son un fracaso (36, 38) Países como el Japón y Estados Unidos basan sus recomendaciones en resultados de experimentos de campo en suelos principales y en la experiencia de agricultores e investigadores Las reco-

mendaciones más realísticas se dividen de acuerdo con tipos de planta, estaciones secas y lluviosas y principales tipos de suelos (57). Es interesante notar que nuevas recomendaciones determinadas de tal manera en la India y Filipinas (23, 57) incluyen dosis mucho más altas (80 y 192 kg N/ha.) para los nuevos tipos de planta que antes se consideraban antieconómicas para el arroz tropical. Recientemente Sims y otros (51) han determinado que la producción de NH_4^+ N después de 6 días de incubaciónción anaeróbica de suelos secos, tiene cierto potencial para evaluar la disponibilidad de N. Hasta ahora esta técnica no se practica en gran escala.

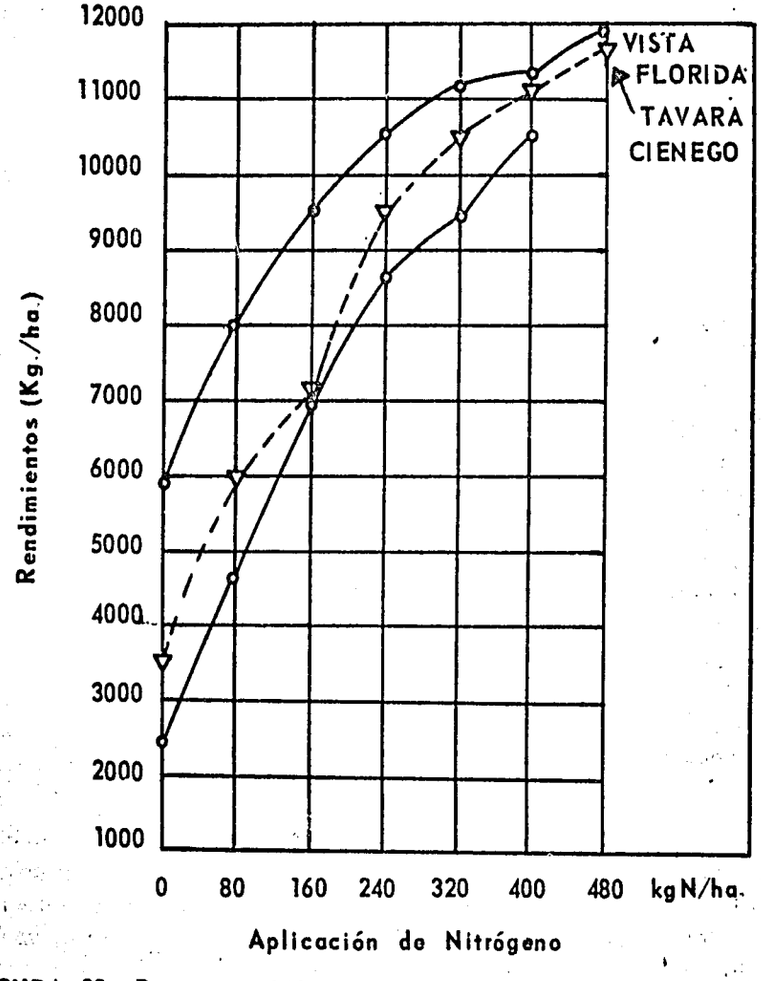


FIGURA 22. Respuesta al N en tres campos experimentales del valle de Lambayeque, Perú, 1970 y 1971. Variedad IR8 (Datos de Ramírez y Sánchez (42) y Gavidia (18))

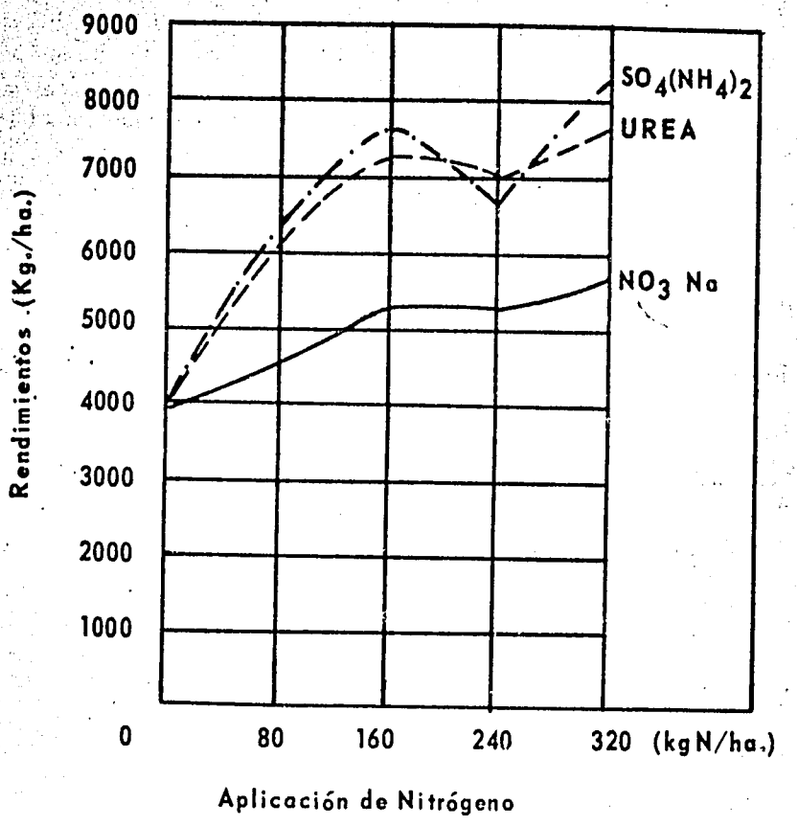


FIGURA 23 Respuestas varietales en un suelo normal y otro salino en Delhi, India. Sistema de trasplante, estación lluviosa. (AICRIP (1)).

3 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE UTILIZACION DE NITROGENO POR EL CULTIVO DEL ARROZ

3.1 Fuentes de nitrógeno para inundación constante

La dinámica del N en suelos inundados ilustrada en la Fig. 3 hace que las fuentes amoniacales de N sean superiores a las nítricas. Un reciente resumen de la literatura sobre este tema (10), así como una serie de experimentos de campo con N^{15} conducidos por la Agencia Internacional de Energía Atómica en 15 países (19), confirman la ausencia

general de diferencias entre el sulfato de amonio y la urea en suelos bajo inundación constante (Tabla 2) El sulfato de amonio es a veces superior en suelos deficientes en azufre e inferior a la urea en suelos extremadamente ácidos o de bajo contenido de Fe, en donde puede ocurrir toxicidad del H_2S. La urea tarda el mismo tiempo en hidrolizarse en carbonato de amonio en suelos inundados que en los no inundados (15). Antes de la hidrólisis, la urea se moviliza tan rápidamente como los nitratos al no poder ser fijada por partículas de arcilla. Esta mayor movilidad más las posibles pérdidas por volatilización directa de la superficie son las razones más mencionadas en casos de inferior comportamiento de esta fuente (10).

TABLA 2. Efectividad del sulfato de amonio, urea y nitrato de sodio como fuentes de N para suelos inundados constantemente. Promedio de 15 experimentos en 13 países (Adaptado de IAEA (19)).

Fuente	Rendimientos de arroz ton/ha.		% N aplicado en el grano	
	Traspl.[1]	Inic.Prim.[2]	Traspl.	Inic.Prim.
Sulfato de amonio	5,1	5,0	18,8	23,1
Urea	5,1	4,9	18,4	23,1
Nitrato de sodio	4,1	4,5	3,0	20,9

1) Incorporado a 5 cms. profundidad al trasplante.

2) Aplicado a la superficie dos semanas antes de la iniciación del primordio.

La ineficiencia del nitrato de sodio en suelos inundados constantemente puede apreciarse en la Tabla 2. La utilización de nitratos aumenta al aplicarse superficialmente cuando el arroz ha desarrollado una capa superficial de raíces capaces de absorberlo antes de que sea lavado a la zona reducida. Aún en estos casos su eficiencia es inferior a las fuentes amoniacales. El uso de inhibidores de nitrificación como aditivos ha fracasado al nivel de campo (10, 19).

El amonio anhidro es una excelente fuente de N para el arroz

inundado pero dificultades de mecanización y posible volatilización al momento de incorporarlo ha prevenido su utilización a gran escala Abonos orgánicos de origen vegetal o animal han sido utilizados desde tiempos inmemoriales en Asia Aunque la materia orgánica generalmente se descompone más lentamente bajo condiciones inundadas los microorganismos responsables lo hacen con una relación C/N mucho más alta que en condiciones aeróbicas (10). Debido a los más altos niveles óptimos de N recomendados actualmente el potencial de los abonos orgánicos es limitado sirviendo sólo como posible suplemento a los inorgánicos.

3 2 Fuentes de nitrógeno para condiciones alternas de inundación y secado

En condiciones de riego intermitente, las comparaciones entre fuentes de N son muy pocas Estudios en el Perú (Fig 24) indican que no hubo diferencias entre urea y sulfato de amonio aplicados en dos épocas, pese a ser un suelo de pH 8,2 La aplicación de NO_3Na al inicio del

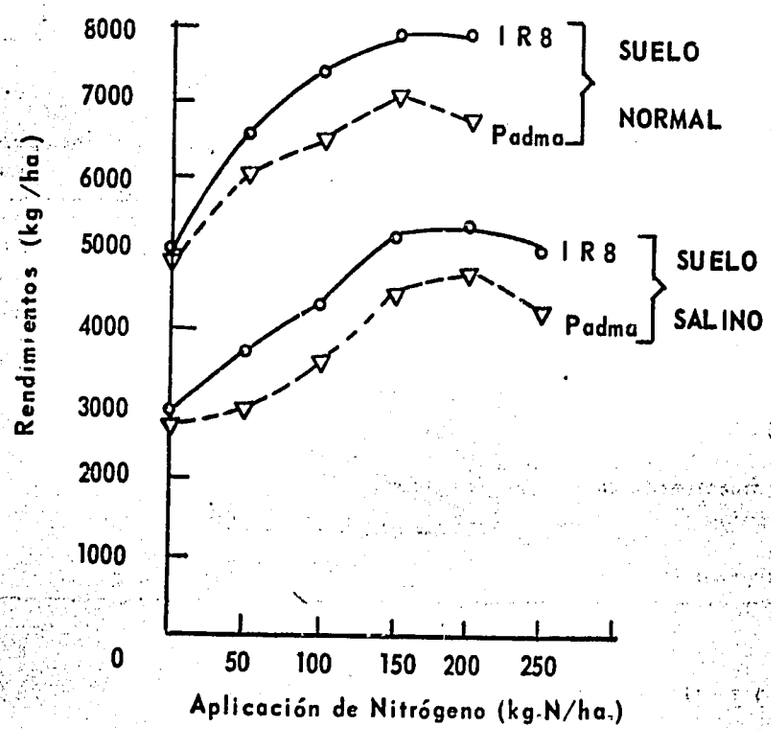


FIGURA 24 Influencia de tres fuentes de nitrógeno bajo riego intermitente en el Perú. Variedad IR5 (Ramírez y Sánchez (41)).

encañado fracasó ya que el arroz no desarrolla una cantidad significativa de raíces superficiales bajo condiciones alternas de inundación y secado (41).

Recientemente, varias fuentes de lenta disponibilidad basadas en el revestimiento de urea con una capa protectora que se descompone lentamente, están siendo estudiadas en varios países. Experimentos con ureas revestidas de azufre, proporcionadas por el Tennessee Valley Authority, han indicado que esta fuente se comporta idénticamente a la urea común en condiciones de inundación constante y baja percolación (21, 35). Sin embargo, bajo inundación intermitente (Tabla 3) las ureas revestidas de azufre incorporadas antes del transplante son definitivamente superiores a la común fraccionada en varias aplicaciones (Tabla 3, Fig. 25). Su potencial para inundación intermitente y de secano está siendo evaluado actualmente en varios países.

TABLA 3. Influencia de ureas revestidas de azufre (SCU) y métodos de incorporación al trasplante en rendimientos de IR8 (ton./ha.) en Rajendanagar, India. Dosis: 120 kg N/ha. (Adaptado de Ten Have(56)).

Fuente de N	Método de aplicación		
	Al voleo	Incorporado a 5 cms.	Incorporado a 10 cms.
Urea común	4,5	5,5	6,1
Urea + azufre	4,3	5,4	6,0
SCU - I	6,5	7,3	8,2
SCU - II	6,1	6,9	7,8
Urea fraccionada en tres partes	-	6,0	-
Testigo sin N		2,3	

3.3 Métodos de incorporación de nitrógeno

El N normalmente se aplica en dos formas: una aplicación

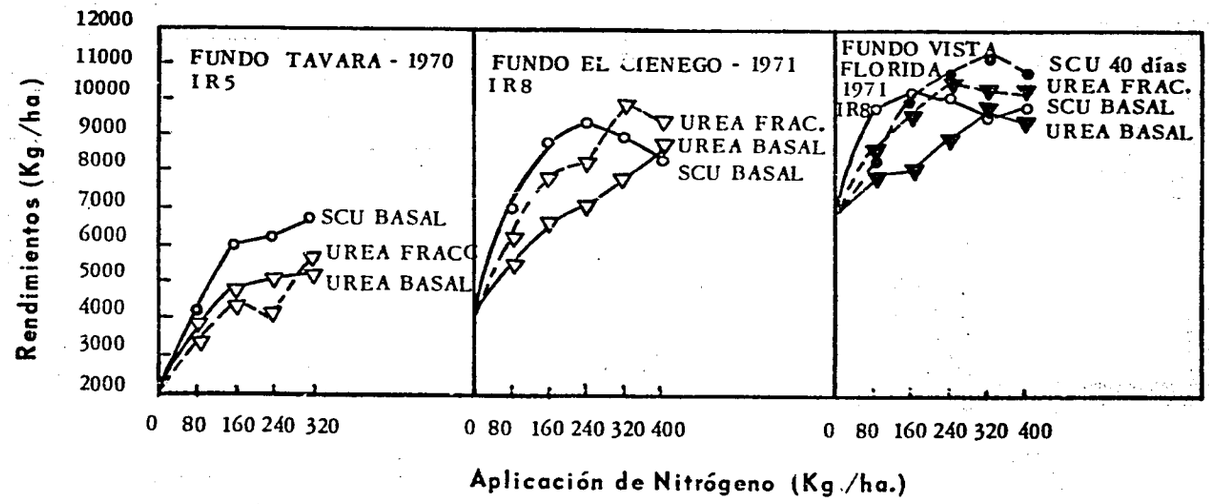


FIGURA 25. Influencia de la urea común y ureas revestidas de azufre (SCU) en la respuesta al N en tres localidades de Lambayeque, Perú, bajo riego intermitente (Datos de Gavidia (18) y Ramírez y Sánchez (41,42)).

basal antes de la siembra directa al trasplante la cual puede ser incorporada en el suelo o al voleo y aplicaciones posteriores exclusivamente al voleo. La necesidad de incorporar las fuentes amoniacales en la capa reducida en sistemas con inundación constante es bien conocida (9, 27). Incorporaciones a 5 cms. de profundidad son suficientes en condiciones de inundación constante (Fig. 26) pero en casos de inundaciones no constantes, una aplicación más profunda puede ser beneficiosa, como lo sugieren los datos de Ten Have (56) en la Tabla 3. Los estudios de N^{15} de la IAEA (19) han proporcionado una nueva información adicional. Los beneficios de una incorporación a 5 cms no fueron observados en suelos con pH aeróbico 4,7 y 8,1 (Tabla 4). Este efecto ha sido atribuído a que la nitrificación de fuentes amoniacales aplicadas a la capa superficial cuyo pH original no cambia, es mínima en estos extremos de pH, eliminando las ventajas de la incorporación en estos casos.

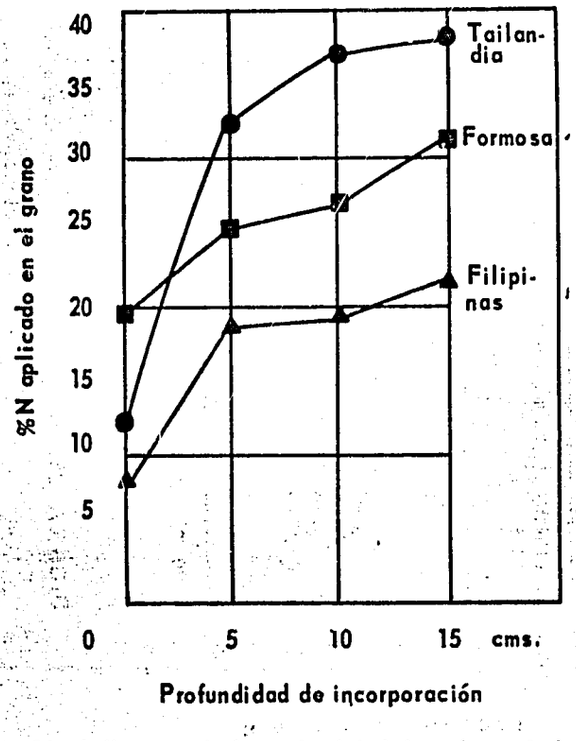


FIGURA 26. Influencia de la profundidad de aplicación basal de $SO_4(NH_4)_2$ en la utilización de N en tres localidades (Adaptado de IAEA (19))

TABLA 4. Eficiencia de utilización de sulfato de amonio (% N^{15} en el grano) afectado por la profundidad de aplicación de una dosis total al trasplante bajo inundación constante en varios países (Adaptado de IAEA, (19)).

Localidad	pH aeróbico	Aplicación a la superficie	Aplicación a 5 cm.
Tailandia	4,7	23,0	23,3
Pakistán del Este	5,3	10,0	17,0
Filipinas	6,1	17,7	23,3
Ceylán	7,3	12,3	18,6
Pakistán del Oeste	8,1	25,7	28,0
Egipto	8,2	23,7	23,0

Bajo condiciones alternas de oxidación y reducción en el Perú la incorporación al trasplante ha resultado inferior a aplicaciones al voleo en estados avanzados de crecimiento (Fig 27). Ramírez y Sánchez (41) han atribuído este efecto a las fuertes pérdidas de N causadas por pronunciados y frecuentes ciclos de inundación y secado durante las etapas iniciales de crecimiento.

Las aplicaciones al voleo en estado de macollamiento o iniciación de primodio de la panoja deben efectuarse en suelos inundados, no siendo recomendable drenar el terreno después (1,9).

3.4 Epocas de aplicación de nitrógeno en inundación constante.

La movibilidad del N en suelos arroceros y los cambios tan drásticos que este elemento puede sufrir durante cortos períodos hace que las épocas de aplicación de N sea un factor sumamente crítico en este cultivo. El arroz necesita asimilar N durante todo su período vegetativo,

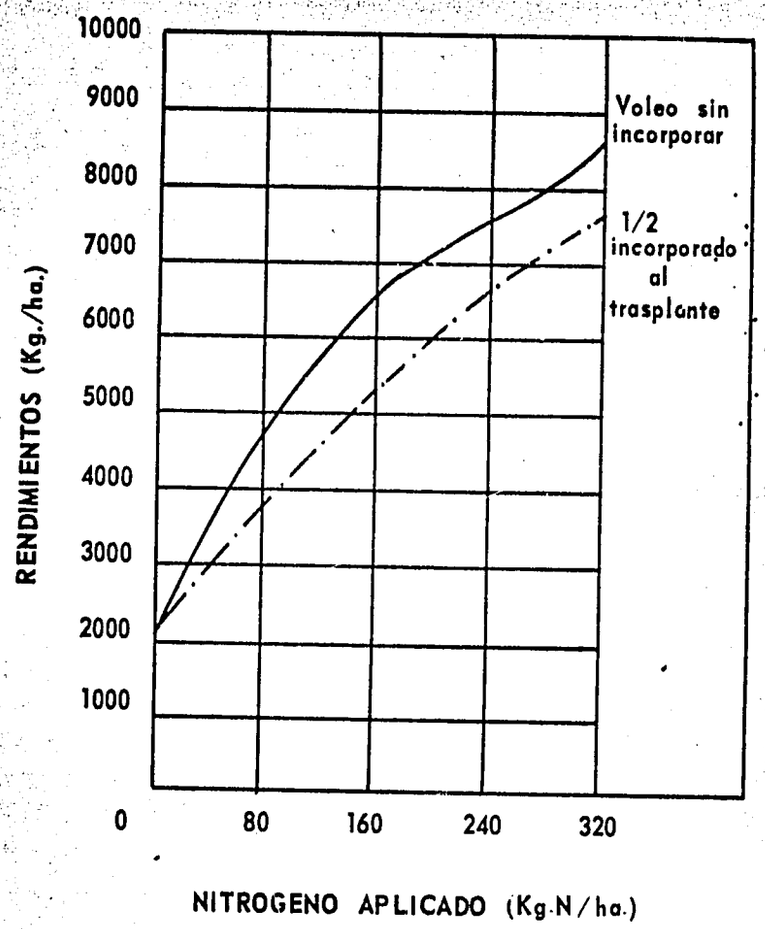


FIGURA 27. Influencia de dos métodos de aplicación de N bajo condiciones de inundación intermitente en Lambayeque, Perú (Ramirez y Sánchez (41)).

pero existen dos estados fisiológicos críticos en condiciones tropicales: el estado de macollamiento durante la fase vegetativa y el inicio del primordio de la panoja conocido en algunos países como el estado de encañado (26). Una buena cantidad de N disponible durante el inicio del macollamiento resulta en una producción alta de macollas, lo cual está estrechamente correlacionado con rendimientos y respuestas al N en tipos de plantas bajas. Sin embargo, excesivas cantidades de N después del estado de máximo macollamiento y antes del encañado pueden resultar

en macollas infértiles y en la caída prematura de variedades altas La disponibilidad del N entre el encañado y la floración está estrechamente correlacionada con el número de granos fértiles por panoja. Excesivas cantidades después de la floración pueden alargar el período vegetativo y aumentar la susceptibilidad a ciertas enfermedades. El propósito de aplicar oportunamente el N es sincronizar las diferentes necesidades de la planta con la disponibilidad de este elemento en el suelo a través del período vegetativo del arroz. Como es de esperar, existe una gran variabilidad de resultados experimentales en diferentes localidades y aún en las mismas localidades en diferentes años (9, 17, 48).

Para condiciones de inundación constante una aplicación basal incorporada íntegramente antes de la siembra o trasplante normalmente es suficiente en suelos con poca percolación y con variedades resistentes a la caída En suelos inundados con bastante percolación el fraccionamiento en dos épocas es más eficiente, siendo la segunda época el estado del encañado (9, 17). Para variedades susceptibles a la caída la aplicación al encañado es recomendable, ya que reduce el crecimiento inicial excesivo (9) y puede llegar a eliminar completamente la caída en variedades susceptibles a este fenómeno (52).

3.5 Epocas de aplicación de N en inundación intermitente

Al conducir experimentos en campos de agricultores con mal manejo de agua, se encontró que tanto la dosis como las épocas óptimas de aplicación son completamente diferentes (21), siendo necesarias dosis más altas y fraccionamiento en dos partes para obtener altos rendimientos con ambos tipos de planta y niveles de radiación solar. En casos de intensas condiciones alternas de inundación y secado, más del 90% del N incorporado al trasplante puede perderse, mientras que con una aplicación al encañado los rendimientos aumentaron (Fig. 28) y la eficiencia de utilización de N se duplica (49). En sistemas de secano el fraccionamiento en dos partes es definitivamente superior especialmente durante la fase reproductiva (Fig. 29). En general, se obtienen muy pocos beneficios adicionales al fraccionar la dosis más de dos partes.

3.6 Recuperación del nitrógeno aplicado

La eficiencia de utilización del N aplicado es generalmente

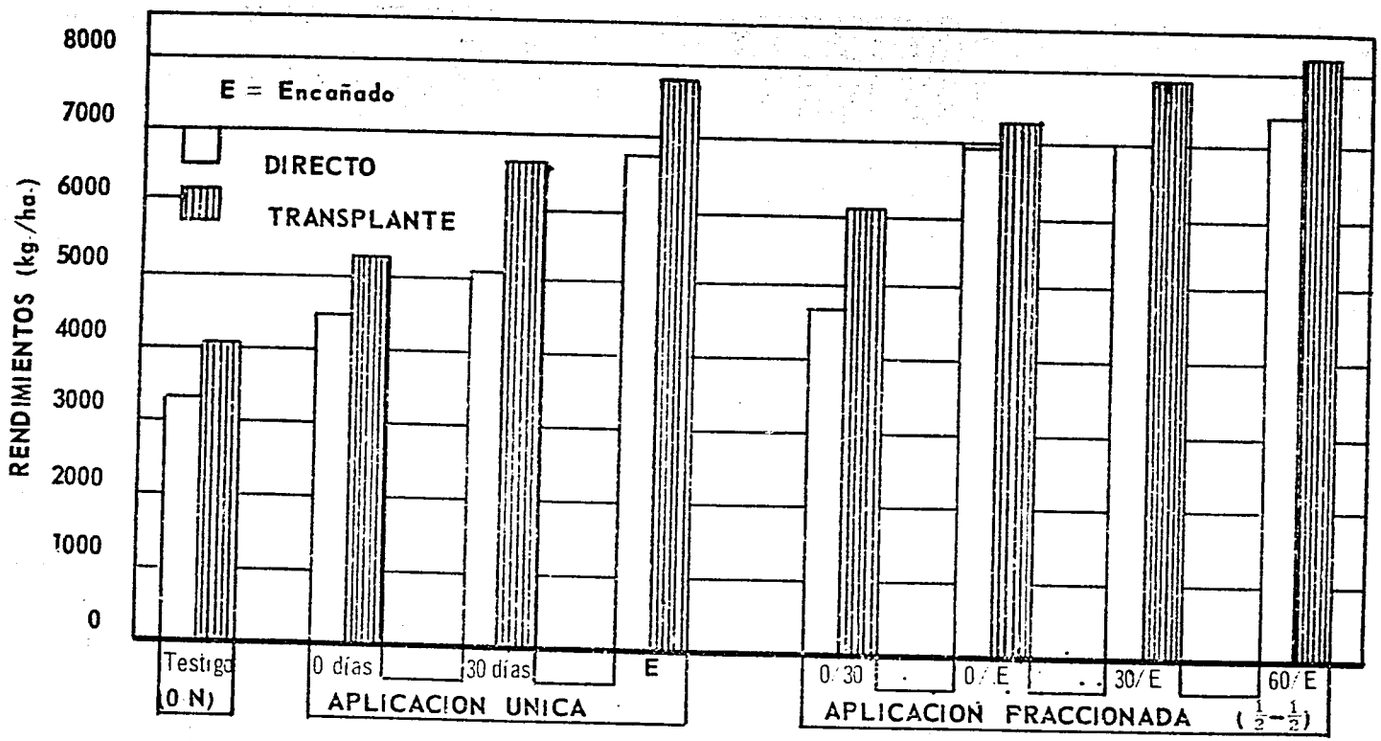


FIGURA 28 Influencia de épocas de aplicación de una dosis de 180 kgN/ha en dos sistemas de siembra e inundación intermitente en Lambayeque Perú (Adaptado de Sánchez y Calderón (49))

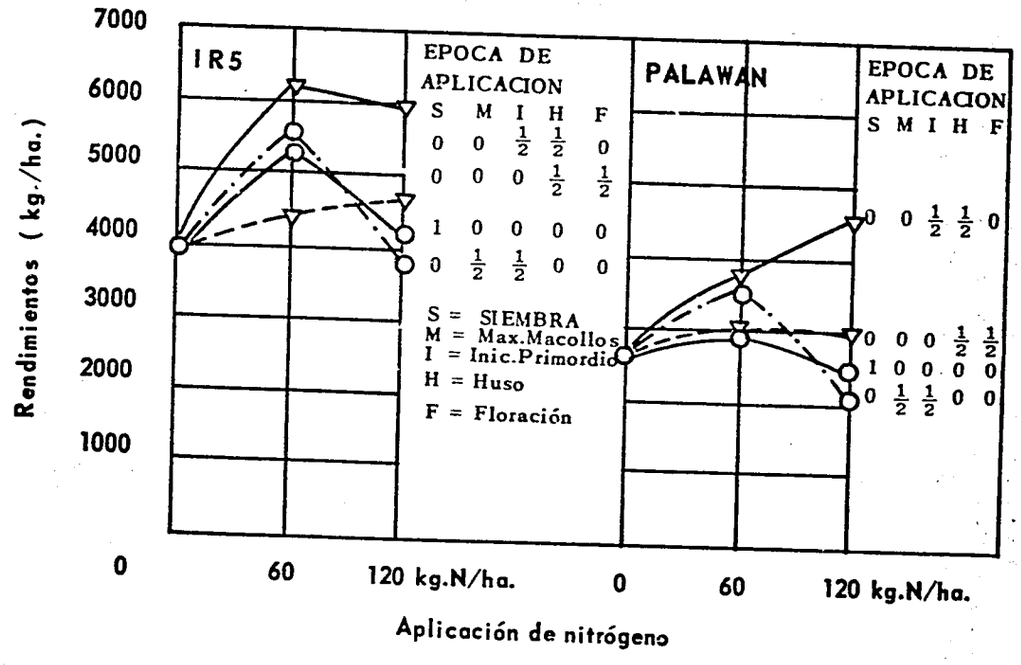


FIGURA 29. Influencia de épocas de aplicación de N bajo condiciones de secano en Filipinas en variedades de tipo de planta baja (IR5) y alta (Palawan). (Adaptado de De Datta (9)).

más baja en el cultivo del arroz inundado que en otros cultivos Westfall (58) señala que en los Estados Unidos, el porcentaje de recuperación fluctúa entre 33 y 53% con dosis de 40 a 120 kg N/ha Racho y De Datta, (39) reportaron eficiencias máximas del 33% para aplicación de 30 kg N/ha en la estación lluviosa y 57% con dosis de 90 kg N/ha en la estación seca en Filipinas La importancia de los mecanismos de pérdida no ha sido evaluada en detalle aunque se presume que la denitrificación y la lixiviación sean los más importantes en suelos inundados

En condiciones alternas de oxidación y reducción, las pérdidas son mayores. El porcentaje de recuperación por la planta a la cosecha fluctúa entre 20 y 30% con las prácticas de manejo convencionales, pero puede aumentar notablemente mediante el uso de fuentes y métodos de incorporación y épocas de aplicación más adecuados para las situaciones locales (41, 49)

4. CONCLUSIONES

Los conceptos básicos del manejo de nitrógeno en suelos constantemente inundados están bien establecidos y esencialmente se necesita establecer curvas de respuestas sencillas para diferentes zonas ecológicas teniendo como variables principales tipos de planta, radiación solar (por medio de ensayo de épocas de siembra) y el manipuleo de combinaciones lógicas de fuentes, métodos y épocas de aplicación

En condiciones de mal manejo de agua, ya sea riego intermitente o cultivo de secano, se necesita concretar más los conceptos básicos y obtener muchos más datos ya que la vasta mayoría del arroz en los trópicos sufre de condiciones alternas de oxidación y reducción

5. RESUMEN

La reducción química del suelo al inundarse causa una serie de cambios en el comportamiento del nitrógeno que no se encuentra en otros cultivos. Al alternar condiciones oxidadas y reducidas debido a inundaciones temporales en la mayoría del arroz tropical las pérdidas de N nativo o aplicado son grandes La respuesta del arroz al N es mínima cuando se usan variedades altas tradicionales susceptibles a la caída

pero es muy alta y económicamente productiva cuando se utilizan las nuevas variedades de estatura corta y en estaciones con alta radiación solar. Las recomendaciones de abonamiento no pueden basarse en análisis de suelos ya que no existen métodos adecuados y deben considerar, además de propiedades del suelo, otros factores como tipo de planta, energía solar, temperatura, manejo de agua y distanciamientos. Las fuentes de N más eficaces son las amoniacales, especialmente el sulfato de amonio y la urea siendo las fuentes nítricas un fracaso. Nuevas ureas de lenta disponibilidad aparentan tener futuro bajo condiciones de inundación intermitente pero no en inundación constante El mejor método de aplicación es la incorporación en el suelo de una dosis basal antes de la siembra o el trasplante, seguida de una segunda aplicación al voleo durante la iniciación del primordio de la panoja excepto en suelos constantemente inundados y de poca percolación Las épocas de aplicación en estados más avanzados de crecimiento y al voleo aparentan ser más eficientes en sistemas de inundación intermitente o secano La eficiencia de utilización del N por el arroz es más baja que en otros cultivos y mucho menor en inundación intermitente que constante. El potencial de mejorar el manejo de N bajo condiciones de mal manejo de agua en los trópicos es grande

BIBLIOGRAFIA

1. AICRIP, 1969. All India Coordinated Rice Improvement Project. Progress Report, Kharif 1969. Volume 2. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, India.

2. AOMINE, S., and SHIGA, Y. 1959. Soil fabric of the plowed layer of flooded rice fields. Soil Plant Food 5: 64-72.

3. ARRAUDEAU, M.. 1970. Le recherche de variétés de riz résistantes su froid en Japon - transposition en Republique Malgache. Agron. Trop. (France) 10:948-955.

4. BATTACHARYYA, A. K., and DE DATTA.S.K. 1971. Effects of soil temperature regimes on growth characteristics, nutrition and grain yield of IR 22 rice. Agron. J. 63: 443-449.

5. BREAZEALE, J. F., and McGEORGE, W.T. 1937. Studies on soil structure: Some nitrogen transformations in puddled soils. Ariz. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 69.

6. BROWN, F. B. 1969. Upland rice in Latin America. Int. Rice. Comm. Newsletter 18 (1): 1-5.

7. BUEHRER, T. F., and ALDRICH, D. G. 1946. Studies on soil structure. VI. Water bound by individual soil constituents as influenced by pudding. Ariz. Agri-Exp. Sta. Tech. Bull. 110.

8. CARMEN, M. L. 1968. Yield of rice as affected by fertilizer rates, soil and meteorological factors. Ph.D. Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa. 174 pp.

9. DE DATTA, S. K. 1970. Fertilizers and soil ammendments for tropical rice. In: Rice Production Manual, Second Editions, University of the Philippines College of Agriculture, Los Baños, Philippines. pp. 106-145.

10. DE DATTA, S. K., and MAGNAYE, C. P. 1969 A survey of the forms and sources of fertilizer nitrogen for flooded rice Soil and Fertilizers 32(2): 103-109.

11. DE DATTA, S. K., and ZARATE, P. M. 1970. Environmental conditions affecting the growth characteristics, nitrogen response and grain yield of tropical rice. Biometeorology 4 (2): 71-89

12. DE DATTA, S. K. and BEACHELL, H. M. 1971. Varietal response to some factors affecting production of upland rice. Rice Breeding Symposium. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines (In press).

13. DE DATTA, S K, MOOMAW, J. C. and DAYRIT, R S 1966. Nitrogen response and yield potential of some rice varietal types in the tropics. IRC Newsletter 15(3): 16-28,

14. DE DATTA, S. K., TAURO, A. C., and BALAOING, S. N. 1968. Effect of plant types and nitrogen level on the growth characteristics and grain yield of indica rice in the tropics. Agron. J. 60: 643-647.

15. DELAUNE, R. D., and PATRICK, W. H., Jr. 1970. Urea conversion to ammonia in waterlogged soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 603-607.

16. DOYLE, J. J. 1966. The response of rice to fertilizer. FAO Agricultural Studies No. 70. 69 pp. FAO, Rome.

17. EVATT, N. S. 1965. The timing of nitrogenous fertilizer applications on rice. In: IRRI. The Mineral Nutrition of the Rice Plant. Johns Hopkins Press, Baltimore. pp. 243-254.

18. GAVIDIA, O. A. 1971. Resultados experimentales de la campaña 1970-71. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.

19. IAEA. 1970. International Atomic Energey Agency. Rice Fertilization. Tech. Report Series 108, Vienna, Austria.

20. IRRI. 1966. The International Rice Research Institute, Annual Report for 1966. Agronomy Chapter. Los Baños, Philippines.

21. ——. 1969. The International Rice Research Institute. Annual Report for 1969. Agronomy Chapter, Los Baños, Philippines.

22. JANA, R. K. and DE DATTA, S. K. 1971. Effects of solar energy and soil moisture tension on the nitrogen response of upland rice. Int. Symposium Soil Fert. Evaluation Proc. 1: 487-498.

23. KANWAR, J. S. 1971. Soil testing service in India retrospect and prospect. Int. Symp. Soil Fert. Evaluation Proc. 1: 1103-1113.

24. KAWANO, K., ARRIOLA, P., y VELAZQUEZ, R. S. 1971a. Características varietales del arroz relacionadas con altos rendimientos en la costa del Perú. Progr. Nac. Arroz Inf. Tec. 55. 36 pp.

25. KAWANO, K., SANCHEZ, P. A., NUREÑA, M. A., and VELEZ, J. 1971b. Upland rice in the Peruvian Selva. Rice Breeding Symposium. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines (In press).

26. MATSUSHIMA, S. 1965. Nitrogen requirements at different stages of growth. In: IRRI: The Mineral Nutrition of the Rice Plant. pp. 219-242. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

27. MIKKLESEN, D. S., and FINFROCK, D. C. 1957. Availability of amoniacal nitrogen to lowland rice as influenced by fertilizer placement. Agron. J. 49(6): 296-300.

28. MIKKLESEN, D. S., and EVATT, N. S. 1966. Soils and feitilizers. In: Rice in the United States: Varieties and production. USDA Agriculturad Handbook No. 289.

29. MIKKLESEN, D. S and PATRICK, W. H. Jr 1968. Fertilizer use on rice. In: Changing Patterns in Fertilizer Use pp. 403-432 Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

30. NICOU, R. SEGUY, L. et HADDAD, G 1970. Comparasion de l'enraçinemente de cuatre varietes de riz pluvial en presence on absence de travail du sol. Agron. Trop (France). 8(25): 639-659.

31. OLIVEIRA, D. de A., MONTOJO, J. C., IGUE, T., MIRANDA, H. e FREITAS, M.L. 1965 Ensaios preliminares de adubacao do arroz de sequeiro. II. Cultivar Pratao. Bragantia 24 (33) 437-446

32. OLIVEIRA, D de A., CASADO, J., IGUE, T., MIRANDA, H. y FREITAS, M. L. 1966. Ensaios preliminares de adubacao de sequeiro III. Cultivar Dourado Precoce Bragantia 25 (1): 1-8

33. PATRICK, W. H., Jr., and WYATT, R 1964 Soil nitrogen loss as a result of alternate submergence and drying Soil Sci Soc Amer Proc 28: 647 653

34. PATRICK, W. H., Jr., QUIRK, W. A., PETERSON, F. J., and FAULKNER, M. D 1967 Effect of continuos submergence vs alternate flooding and drying on growth, yield and nitrogen uptake by rice Agron J 59 (5): 418-419

35. PATRICK, W. H., Jr., PETERSON, F. S., and WILSON, F. E 1969 Sources of nitrogen for rice 61st. Annual Progress Report, Rice Experiment Station, Crowley, La pp 64 65

36. PETERSON, F. J., BRUPBACKER, R. H., CLERK, H. L. and SEDBERRY, J. E Jr 1971. Rice fertilization as related to soil type and soil test Int Simposium Soil Fert Evaluation Proc 1: 445-454

37. PONNAMPERUMA, F. N. 1955. The chemistry of submerged soils in relation to the growth and yield of rice Ph.D Thesis, Cornell University, Ithaca, N. Y. 208 pp.

38. _____ 1965 Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant In IRRI: The Mineral Nutrition of the Rice Plant pp 295-328, and pp 461-482 Johns Hopkins Press, Baltimore.

39. RACHO, V. V., and DE DATTA, S. K 1968 Nitrogen economy of cropped and uncropped flooded rice soils under field conditions Soil Sci 105 (6): 417-427.

40. RAMIREZ, G. E., y SANCHEZ, P. A. 1970. Experimentos de agronomía en Lambayeque. Datos no publicados Programa Nacional de Arroz, Lambayeque, Perú.

41. RAMIEZ, G. E y SANCHEZ P A 1971a Factores que afectan la eficiencia de utilización del nitrógeno por el cultivo del arroz bajo riego intermitente en la Costa del Perú Prog. Nac Arroz Inf Tec 59, 51 pp

42. _____. 1971b Experimentos de agronomía en Lambayeque Datos no publicados Programa Nacional de Arroz, Lambayeque, Perú.

43. REDMAN, F. H., and PATRICK, W. H, Jr. 1965 Effect of submergence on several biological and chemical soil properties La. State Univ Bull. 592.

44 SANCHEZ, P. A 1968 Rice performance under puddled and granulated soil cropping systems in Southeast Asia Ph D Thesis Cornell University, Ithaca, N. Y. 381 pp

45. _____. 1969a Influencia de los factores climáticos en el cultivo de arroz en el Perú. En: Curso de Capacitación sobre el Cultivo de Arroz, Programa Nacional de Arroz, Lambayeque, Perú. pp 189-216

46. _____. 1969b Present status of rice research in Perú. North Carolina State University Agricultural Mission to Perú Report No 371. 30 pp.

47. SANCHEZ, P A. y DELGADO, A 1969 Propiedades de suelos en relación al cultivo del arroz bajo condiciones peruanas. En Curso de Capacitación sobre el Cultivo del arroz, Programa Nacional de Arroz, Lambayeque, Perú pp. 217-254.

48. SANCHEZ, P. A. y CALDERON, M. V. 1970. Epocas de aplicación de nitrógeno en sistemas de trasplante y siembra directa en la costa norte del Perú, Progr Nac. Arroz Inf. Tec. 17, 30 pp.

49. _____. 1971. Timing of nitrogen applications of rice grown under intermittent flooding in the Coast of Perú. Int Symposium Soil Fert. Evaluation Proc. 1: 595 602.

50. SANCHEZ, P. A., RAMIREZ, G. E y CALDERON, M V 1970. Nitrogen responses to rice under high solar radiation conditions in the North Coast of Peru. Agronomy Abs 1970: 127

51. SIMS, J. L, WELLS, J. P, and TACKETT, D L 1967a Predicting nitrogen availability to rice. I Comparison of methods for determining available nitrogen to rice from field and reservoir soils Soil Sci. Soc, Amer. Proc. 31: 672 675.

52. SIMS, J L, HALL, V. L, and JOHNSTON, T. H 1967b Timing of N fertilization of rice I Effects of applications near midseason and varietal performance. Agron. J. 59: 63-66

53. TANAKA, A , 1965 Examples of plant performance In IRRI The Mineral Nutrition of the Rice Plant. Johns Hopkins Press, Baltimore pp. 37 52.

54. TANAKA, A., and VERGARA, B 1967. Growth habit and ripening of rice plants in relation to the environmental conditions in the Far East. International Rice Commision Newsletter Special Issue pp. 26-42.

55. TANAKA, A., NAVASERO, S. A., GARCIA, C. V , PARAO, F: T., and RAMIREZ, E. 1964. Growth habit of the rice plant in the tropics and its effect on nitrogen response. IRRI Tech. Bull 3, 80 pp.

56. TEN HAVE, H. 1971. Experiments with sulphur coated urea at Rajendranagar during the Rabi 1969 70 and Kharif 1970. Unpublished paper presented at the Advisory Committee on Rice Fertilization Meeting. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama

57. VILLEGAS, L. M. and FEUR, R. 1970. Response of lowland rice to fertilization in the Philippines. In: Rice Production Manual, Second Edition, University of the Philippines, College of Agriculture, Los Baños, pp. 346 355.

58 WESTFALL, D G. 1969. The efficiency of applied N on rice producing soils, Rice J. 72 (7): 66.67.

59. YODER, R E 1936 A direct method of aggregate analyses of soils and a study of the physical nature of erosion losses. J. Amer. Soc. Agron. 20 337-351.