

PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO DO ^{15}N -URÉIA E ^{15}N -SULFATO DE AMÔNIO NUM SOLO CALCÁRIO DA PARTE CENTRAL DA REGIÃO COSTEIRA DO PERU¹

SEGUNDO URQUIAGA², REYNALDO L. VICTORIA³,
FAUSTO BUITRÓN⁴ e JORGE CHÁVEZ NEYRA⁵

RESUMO - Num solo calcário (Entissolo) da parte central da região costeira do Peru, foram estudadas, em casa de vegetação, as perdas por volatilização do N-uréia (10,191% átomos ^{15}N) e N-sulfato de amônio (7,801% átomos ^{15}N), aplicados como adubo de cobertura na cultura de milho. Nos vasos com 1.500 g de terra, o N foi aplicado na dose de 150 $\mu\text{g/g}$. Os adubos localizados de quatro maneiras (na superfície do solo seco, superfície do solo úmido, superfície do solo seco com irrigação imediata e enterrado a 4 cm em solo úmido), foram aplicados quando as plantas de milho (quatro/vaso) tinham quinze dias após a emergência (DAE). As perdas do N-fertilizante, por volatilização, foram calculadas através do balanço de massa do N aplicado, no final do experimento (45 DAE). Encontrou-se que: a) a uréia (65%) superou o sulfato de amônio (52%) no aproveitamento pela cultura, sendo que o aproveitamento dos adubos foi maior quando foram aplicados na superfície do solo seco ou enterrados em solo úmido; b) a uréia deixou mais N residual no solo, mas não houve diferenças significativas nas formas de localização; c) a perda do N-sulfato de amônio (39%), por volatilização, superou sensivelmente a uréia (23,6%); d) as perdas do N-fertilizante aplicado na superfície do solo úmido (42%) ou seco com irrigação imediata (37%) superaram sensivelmente as aplicações na superfície de solo seco (23,4%) ou enterrado em solo úmido (22%).

Termos para indexação: fontes de N, formas de aplicação de N, recuperação do N-fert. pela planta, balanço de N.

LOSSES BY VOLATILIZATION OF ^{15}N -UREA AND ^{15}N -AMMONIUM SULPHATE FROM A CALCAREOUS SOIL OF THE CENTRAL COASTAL REGION OF PERU

ABSTRACT - A study was performed in greenhouse to investigate the volatilization losses on nitrogen from ^{15}N labelled urea (10.191 atom % ^{15}N) and ammonium sulphate (7.801 atom % ^{15}N) applied to pots of a calcareous soil (Entisol) from the central coastal region of Peru. The pots contained 1.5 kg of soil and were planted with four maize plants. The labelled N was added at a rate of 150 $\mu\text{g N.g}^{-1}$ soil at 15 days after emergence (DAE) of the maize. The N fertilizer were applied in four different ways: on the surface of the dry soil, on the surface of the wetted soil, on the surface of the dry soil but immediately irrigated, or buried at a depth of 4 cm in wetted soil. The losses of fertilizer N, by volatilization were calculated from a mass balance of the applied labelled N at the end of the experiment (45 DAE). It was found that: a) a greater proportion of the N from urea (65%) was taken up by the plant than that provided by ammonium sulphate (52%) and fertilizer use efficiency was greater when the fertilizers were applied to the surface of the dry soil or buried in wetted soil; b) the urea left more residual N in the soil but there were no significant differences between the addition methods; c) the loss of N from ammonium sulphate (39%), by volatilization, was greater than that from urea (23,6%); d) the losses of fertilizer N applied to the surface of the wetted soil (42%) or from that applied to dry soil which was immediately irrigated (37%) were significantly greater than when the fertilizer was applied to the surface of dry soil (23,4%) or buried in wet soil (22%).

Index terms: nitrogen sources, nitrogen application methods, nitrogen recovery by plant, nitrogen balance.

INTRODUÇÃO

Nas regiões áridas ou semi-áridas, especialmente em solos calcários, a perda de N por volatilização de amônia é uma das principais causas da baixa eficiência da adubação nitrogenada. Diversos autores (Allison 1966, Bouwmeester et al. 1985, Fenn & Escarzaga 1976, Fenn & Kissel 1976, Gasser 1964a, Motocha 1976, Terman 1979) consideram que as perdas de N na forma de amônia ocorrem principalmente em solos de reação básica, arenosos, de baixa capacidade de troca catiônica, altos em calcário e com baixa retenção de água.

- ¹ Aceito para publicação em 29 de março de 1989. Contribuição da Universidade Nacional Agrária "La Molina", Lima, Perú. Trabalho apresentado no Seminário Regional sobre Uso de Técnicas Nucleares na Produção de Plantas Agrícolas, Piracicaba, novembro de 1984.
- ² Eng. - Agr., Ph.D., Prof.-Associado, Univ. Nac. Agrária "La Molina", Lima. Atualmente, consultor da EMBRAPA-UAPNPBS, CEP 23851, Seropédica, km 47, Rio de Janeiro, RJ.
- ³ Eng. - Agr., Ph.D., Prof.-Adjunto, DFM/ESALQ/USP.
- ⁴ Eng. - Agr., M.Sc., Centro Internacional de La Papa (CIP), Lima.
- ⁵ Eng. - Agr., M.Sc., Prof.-Associado, Univ. Nac. Agrária "La Molina", Lima.

Dependendo da fonte aplicada e do grau de incidência dos fatores acima mencionados, as perdas de $N-NH_3$ podem ser significativamente altas. Martin & Chapman (1951) encontraram que as perdas gasosas de N do nitrato de amônio e sulfato de amônio, aplicados a um solo de pH 6,7 foram mínimas (< 3%) em comparação com as da uréia (35%), porém, em pH 8, as perdas do N-sulfato de amônio chegaram a superar a uréia. Pinna & Valdivia (1978) observaram que as perdas de N-uréia, aplicado na superfície de um solo calcário úmido ou em solo seco com irrigação imediata, foram acima de 50% no inverno e acima de 70% no verão, ao passo que a adubação feita no solo seco não sofreu perdas sensíveis.

Nos solos ácidos, ao contrário do que sucede com os sais amoniocais, as perdas de $N-NH_3$ derivado da uréia também podem ser significativas, uma vez que a hidrólise deste adubo, para formar $(NH_4)_2CO_3$, depende principalmente da atividade da urease e da umidade, independentemente da reação do solo (Gasser 1964b, Keller & Mengel 1986, Terman 1979). Ferguson et al. (1984) salientam que estas perdas são maiores na medida em que o poder-tampão da acidez do solo diminui.

Com relação à influência da umidade do solo, numerosos autores (Fenn & Escarzaga 1976, Gasser 1964a, Kresge & Satchell 1960, Volk 1966, encontraram que as perdas de $N-NH_3$ estavam diretamente relacionadas com a velocidade e duração do processo de secagem do solo. Mas é necessário que, inicialmente, o solo apresente umidade suficiente para que as reações químicas possam ocorrer, uma vez que foi observado que com a aplicação de solução concentrada de sulfato de amônio em solo calcário seco (Fenn & Escarzaga 1976) ou uréia aplicada em solo seco (ou com baixa umidade) (Terman 1979, Vlek & Carter 1983), as perdas foram mínimas. Para melhor aproveitamento, pelas plantas, dos adubos que ficaram conservados na superfície do solo, será necessário que a irrigação ou a chuva sejam de intensidade suficiente para que os adubos possam ser rapidamente incorporados dentro do solo (Bouwmeester et al. 1985).

A mistura ou incorporação dos adubos dentro do solo podem reduzir ou até eliminar as perdas de N por volatilização em solos ácidos, porém em

solos com alto teor em calcário (ou alcalinos) esta prática pode reduzir as perdas de amônia, mas não, eliminá-las (Fenn & Kissel 1976, Terman 1979).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar as perdas, por volatilização, do N derivado da uréia e sulfato de amônio aplicados num solo calcário da parte central da região costeira do Peru.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em casa de vegetação da Universidad Nacional Agraria "La Molina", Lima, Perú.

As amostras de solo empregadas foram a da camada superficial (zero a 20 cm) de um Entissolo calcário da série La Molina, da parte central da região costeira do Peru. Na Tabela 1 são apresentados alguns resultados da análise do solo.

A terra fina do solo, secada ao ar, foi colocada em vasos de plástico sem drenagem (1,5 kg/vaso, com 176 cm² de área superficial/vaso), nos quais foram cultivadas quatro plantas de milho (Híbrido PM 204). Todos os vasos receberam, na semeadura (15.11.82), 50 mg/kg de P_2O_5 e de K_2O , na forma de superfosfato simples e de cloreto de potássio, respectivamente.

Quinze dias após a emergência (DAE), quando as plantas mostravam sintomas evidentes de deficiência de N, foram aplicados os tratamentos de adubação nitrogenada, que consistiram no fornecimento de 150 mg de N por vaso (aproximadamente 100 kg/ha de N) na forma de ¹⁵N-Uréia (10,191% átomos ¹⁵N) ou ¹⁵N-sulfato de amônio (7,801% átomos ¹⁵N), em quatro formas de aplicação: a) na superfície do solo seco, b) na superfície do solo úmido, c) na superfície do solo seco com irrigação imediata, e d) enterrado a quatro centímetros no solo úmido. Foi também feito um tratamento adicional, sem N, para avaliar a resposta das plantas à adubação nitrogenada. A irrigação foi realizada duas vezes por dia, controlada por pesagem. Na Tabela 2 são apresentados os valores da umidade do solo (como percentagem da retenção de água a 0,3 atm de tensão) no momento da aplicação dos tratamentos (7:00 horas) e na primeira irrigação doze horas depois, assim como a quantidade de água aplicada.

Cinco dias após a aplicação dos adubos, as plantas adubadas começaram a recuperar a cor verde e continuaram o crescimento, mas 30 dias após esta adubação, quando as plantas estavam novamente indicando falta de N, foi feita a colheita. Na parte aérea e raízes, após lavagem, secagem (60°C/48 horas), pesagem e moagem, foram feitas análises de N-total pelo método semi-micro Kjeldahl (Bremner 1965), e da composição isotópica de N, pelo método de Dumas modificado (Proksch 1969), empregando-se espectrômetro de massa VARIAN-MAT 230. No solo também foram feitas as mesmas análises.

Os tratamentos foram avaliados pelo delineamento experimental de blocos inteiramente casualizados, com quatro repetições. Os parâmetros considerados foram: a)

produção de matéria seca, b) eficiência de utilização do N-fertilizante pela cultura, c) N-fertilizante residual no solo, e d) perdas gasosas de N. A eficiência de utilização do N-fertilizante refere-se à fração da quantidade do N-fertilizante que foi extraído pela planta.

Na Tabela 3 são apresentados dados de algumas variáveis climatológicas, sob as quais foi desenvolvido o presente trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como pode ser observado na Tabela 4, a adubação nitrogenada em geral duplicou a produ-

ção de matéria seca da testemunha (10,5 g/vaso), o que indica que a deficiência de N no solo vinha limitando sensivelmente a capacidade produtiva. Estes resultados confirmam, em parte, a situação pela qual a agricultura da região litorânea do Peru - de onde procede o solo em estudo -, com apenas 26% da área nacional cultivada, consome mais de 80% dos adubos nitrogenados consumidos no País (Universidad Nacional Agraria La Molina 1976). Por outro lado, também pode ser observado

TABELA 1. Algumas características físicas e químicas da camada arável do solo em estudo¹.

Textura Arg. silte	pH H ₂ O (1:1)	CaCO ₃	C-org.	N-total	P.disp.	Cátions trocáveis				
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CTC
%			g/100		ppm	meq/100 g				
20 44	7,5	4,85	0,92	0,089	13,8	9,6	1,6	0,22	0,2	12,0

¹ Análises feitas no laboratório de análises de solos da Universidad Nacional Agraria "La Molina", Lima, Perú.

TABELA 2. Valores da umidade do solo no momento da aplicação dos tratamentos e logo na primeira irrigação, doze horas depois.

Localização das fontes de N	Umidade a 0,3 atm ¹	Umidade na aplic. de N	Umidade na 1. ^a irrigação ²	Água aplicada na 1. ^a irrigação ³
Superf. solo seco	100	68 ± 3	48 ± 2	50
Superf. solo úmido	100	80 ± 4	52 ± 3	48
Superf. solo seco + irrigação	100	67 ± 3 (+ 33) ⁴	62 ± 4	38
Enterrado solo úmido	100	82 ± 2	56 ± 3	44

¹ Umidade do solo a 0,3 atm de tensão = 18 g/100 g ou 270 g água/vaso.

² Umidade do solo antes da primeira irrigação (doze horas após a aplicação dos tratamentos).

³ Água aplicada a cada vaso na primeira irrigação, após aplicação dos tratamentos.

⁴ Água aplicada imediatamente depois da aplicação dos adubos na superfície de solo seco, no respectivo tratamento.

TABELA 3. Valores de algumas variáveis climatológicas durante o desenvolvimento da pesquisa¹.

Mês	Dias	Temperatura		Precip.	Evap. pot	UR ³	Veloc. vento
		Ar	Solo ²				
		C ^o			mm	%	km/hora
Nov.	15 - 30	20,3 ± 0,9	34,9 ± 0,9	2,1	3,9 ± 2	85,4 ± 4,9	3,0 ± 0,5
Dez.	01 - 31	23,1 ± 0,8	41,0 ± 5,2	0,0	5,0 ± 1,7	83,1 ± 4,2	3,6 ± 0,8
Jan.	01 - 05	25,0 ± 0,7	43,4 ± 3,8	0,0	6,5 ± 1,3	83,0 ± 3,8	3,5 ± 0,6

¹ Valores médios das médias diárias, no período.

² Temperatura medida a 2 cm de profundidade em solo descoberto e seco.

³ Umidade relativa do ar.

(Tabela 4) que a produção de matéria seca, no caso do sulfato de amônio, foi significativamente afetada pela forma de localização da adubação de cobertura, sendo que a aplicação na superfície do solo seco, ou enterrado em solo úmido, contribuiu para maior produção.

Com relação à extração de N-total pela cultura (Tabela 4), observa-se que a uréia superou significativamente o sulfato de amônio, em todas as formas de localização, mas em ambos os adubos as maiores extrações de N pela planta ocorreu nos tratamentos de aplicação na superfície de solo seco, ou enterrado em solo úmido. Estes resultados indicam que a forma de localizar os adubos

neste solo afetou a disponibilidade de N para as plantas, e, desta maneira, a produção vegetal.

No referente à extração de N-fertilizante pela planta, na Tabela 5 pode ser observado que a uréia superou o sulfato de amônio em 25%, sendo que, independentemente da fonte nitrogenada, as plantas aproveitaram melhor o N aplicado na superfície de solo seco e enterrado em solo úmido. Estes resultados indicam que, realmente, o crescimento das plantas esteve em função da disponibilidade do N-fertilizante aplicado. Por outro lado, tendo em consideração o N-fertilizante residual no solo (Tabela 5), onde não se observam diferenças significativas entre as formas de localização dos adubos,

TABELA 4. Produção média de matéria seca e N total extraído pela cultura em função de quatro formas de localização do adubo nitrogenado.

Localização das fontes de N	Matéria seca total			Nitrogênio total extraído		
	Uréia	S. amônio g/vaso	Média	Uréia	S. amônio mg/vaso	Média
Sem nitrogênio	—	—	10,5	—	—	77,8
Superf. solo seco	21,3 a	23,0 a	22,2 a	191,8	171,7	181,8 a
Superf. solo úmido	20,7 a	17,0 b	18,8 b	163,2	125,3	144,3 b
Superf. solo seco + irrigação	19,9 a	19,0 b	19,4 ab	150,6	136,3	143,3 b
Enterrado solo úmido	19,8 a	19,9 ab	19,8 ab	167,6	164,1	165,8 ab
Média	20,4 A	19,7 A	—	168,3 A	149,4 B	—

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

TABELA 5. Quantidade média de N na planta e no solo, proveniente do fertilizante, em função de quatro formas de localização do adubo nitrogenado.

Localização das fontes de N	N-fertilizante na planta			N-fertilizante no solo		
	Uréia	S. amônio mg/vaso	Média	Uréia	S. amônio mg/vaso	Média
Superf. solo seco	111,8	83,1	97,5 a	18,5	16,7	17,6 a
Superf. solo úmido	86,1	58,6	72,4 b	16,2	14,1	15,1 a
Superf. solo seco + irrigação	86,1	68,6	77,4 b	18,2	13,5	15,8 a
Enterrado solo úmido	104,6	101,3	103,0 a	16,8	11,2	14,0 a
Média	97,2 A	77,9 B	—	17,4 A	13,9 B	—

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

mas sim entre estes, nos quais a uréia superou ($p = 0,05$) novamente o sulfato de amônio, deduz-se que perdas significativas do N-fertilizante devem ter ocorrido quando estes foram aplicados na superfície de solo úmido e na superfície de solo seco com irrigação imediata. Não obstante as perdas de N como NH_3 não terem sido medidas diretamente, pelas condições do presente trabalho e de acordo com Allison (1966), Gasser (1964a, b) e Terman (1979), a principal via de perdas de N neste estudo deve ter sido a volatilização de amônia.

Pelos dados da Tabela 6, deduz-se que os maiores ou menores valores da eficiência de utilização do N-fertilizante pela cultura estiveram diretamente relacionados com as menores ou maiores perdas de N por volatilização. Estas perdas devem ter ocorrido em forma significativa no primeiro dia da aplicação dos adubos nitrogenados, pelo fato de que, na maioria dos tratamentos, os adubos permaneceram expostos na superfície do solo, num ambiente quente (Tabela 3), pelo menos doze horas - condições que, segundo Ernst & Massey (1960) e Kresge & Satchell (1960), favorecem a evaporação da água do solo e junto com isto as perdas de amônia, especialmente em solos com boa umidade inicial. Deve-se salientar que Keller & Mengel (1986) têm encontrado resultados semelhantes.

Na eficiência de utilização do N-fertilizante, a uréia (68,4%) superou significativamente o sulfato de amônio (52%), mas nas perdas de N-fertilizante, este último (38,8%) superou em mais de 60% a

uréia (23,6%). O melhor comportamento da uréia, neste solo calcário, pode ser atribuído à sua menor reatividade inicial, em comparação com o sulfato de amônio, pois, segundo Gasser (1964b) e Terman (1979), a uréia, independentemente do pH e do teor de calcário, precisa da presença da urease ativa e de umidade adequada para ser hidrolizada a $(NH_4)_2CO_3$. Além disso, consideram que quando a uréia é aplicada na superfície de solos calcários e pobres em matéria orgânica, como neste solo (onde a atividade da urease é menor), este adubo pode ser difundido através da umidade do solo, ou arrastado pela água de irrigação ou chuvas, às camadas profundas, antes que se tenha completado a hidrólise na superfície do solo. Desta forma, reduzem-se as perdas de $N-NH_3$.

Além disso, de acordo com Ernst & Massey (1960) e Vlek & Carter (1983), o bom comportamento da uréia aplicada na superfície de solo seco, em comparação ao mesmo tratamento com irrigação imediata, só pode ser atribuído à conservação do adubo na superfície do solo seco, visto que sem adequada umidade não ocorre a hidrólise do adubo. Nesta situação, a primeira irrigação, feita doze horas após a aplicação do adubação, deve ter introduzido este adubo no solo antes que ocorresse a hidrólise, ao passo que no tratamento similar a irrigação aplicada (Tabela 2) logo após a adubação pode não ter sido suficiente para introduzir o adubo adequadamente no solo. Ao contrário da uréia, o sulfato de amônio aplicado na superfície de solos calcários pode reagir rapidamente

TABELA 6. Eficiência de utilização do N-fertilizante pela cultura e perda do N-fertilizante por volatilização de amônia.

Localização das fontes de N	Eficiência utiliz. N-fert.			N-fertilizante perdido		
	Uréia	S. amônio	Média	Uréia	S. amônio	Média
		mg/100 mg			mg/100 mg	
Superf. solo seco	74,5	55,4	65,0 a	13,2	33,5	23,4 b
Superf. solo úmido	57,3	39,1	48,2 b	31,9	51,5	41,7 a
Superf. solo seco + irrigação	57,4	45,7	51,6 b	30,4	45,3	37,8 a
Enterrado solo úmido	69,8	67,6	68,7 a	19,0	25,0	22,0 b
Média	64,8 A	52,0 B	—	23,6 B	38,8 A	—

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

liberando $N-NH_3$ (Gasser 1964a, Meyer et al. 1961). Além disso, o amônio (NH_4^+) residual, ao ficar retido pelas cargas negativas dos colóides na parte superficial do solo, não é facilmente incorporado ao solo pela chuva ou pela irrigação, ficando sujeito a continuar perdendo-se por volatilização na forma de amônia.

Por outro lado, pode-se observar, na Tabela 6, que a incorporação dos adubos a 4 cm de profundidade, em solo úmido, não impediu as perdas de N por volatilização, mas conseguiu reduzi-las a quase a metade das perdas máximas (41,7%). Estes resultados são concordantes com os de Fenn & Kissel (1976), Terman & Hunt (1964) e Terman (1979), no sentido de que o efeito positivo da incorporação dos adubos nitrogenados (principalmente amoniacais), dentro dos solos calcários, está associado com o maior conteúdo de umidade nas camadas mais profundas do solo e distantes da superfície onde ocorre maior fluxo de água e amônia para a atmosfera. Além disso, salientam que a incorporação facilita a adsorção de amônia pelo solo, propriedade que diminui com o incremento do pH.

CONCLUSÕES

1. A adubação nitrogenada duplicou a produção da cultura, e os maiores valores ocorreram quando os adubos foram aplicados na superfície de solo seco ou enterrados em solo úmido.

2. Na eficiência de utilização do N-fertilizante pela cultura, a uréia (65%) superou significativamente o sulfato de amônio (52%), com os melhores resultados obtidos também na adubação colocada na superfície de solo seco ou enterrado em solo úmido.

3. No final da cultura, a uréia deixou sensivelmente mais N-fertilizante residual no solo que o sulfato de amônio.

4. A maior perda do N-fertilizante, por volatilização, ocorreu com sulfato de amônio (39%), que superou sensivelmente a uréia (23,6%).

5. As perdas do N-fertilizante aplicado na superfície de solo úmido (42,0%), ou seco com irrigação imediata (37%), superaram sensivelmente as aplicações na superfície de solo seco (23,4%) ou enterrado em solo úmido (22%).

REFERÊNCIAS

- ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agron.*, 18:219-58, 1966.
- BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:376-81, 1985.
- BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Am. Soc. Agron., 1965. pt 2, p.1149-78.
- ERNST, J.W. & MASSEY, M.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24:87-90, 1960.
- FENN, L.B. & ESCARZAGA, R. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds of calcareous soils: V. Soil Water content and method of nitrogen application. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:537-41, 1976.
- FENN, L.B. & KISSEL, D.E. The influence of cation exchange capacity and depth of incorporation on ammonia volatilization from ammonium compounds applied to calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:394-8, 1976.
- FERGUSON, R.B. KISSEL, D.E. KOELLIKER, J.K.; BASEL, W. Ammonia volatilization from surface-applied urea: Effect of hydrogen ion buffering capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:578-82, 1984.
- GASSER, J.K.R. Some factors affecting losses of ammonia from urea and ammonium sulfate applied to soil. *Soil Sci.*, 15:258-72, 1964 a.
- GASSER, J.K.R. Urea as a fertilizer. *Soils Fert.*, 27:175-80, 1964b.
- KELLER, G.D. & MENGEL, D.B. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1060-3, 1986.
- KRESGE, C.B. & SATCHELL, D.P. Gaseous loss of ammonia from nitrogen fertilizers applied to soils. *Agron. J.*, 52:104-7, 1960.
- MARTIN, J.P. & CHAPMAN, H.D. Volatilization of ammonia from surface-fertilized soils. *Soils Sci.*, 71:25-34, 1951.
- MEYER, R.D.; OLSON, R.A.; RHOADES, H.F. Ammonia losses from fertilized Nebraska soils. *Agron. J.*, 53:241-4, 1961.
- MOTOCHA, J.E. Ammonia volatilization and nitrogen utilization from sulfur-coated ureas and conventional nitrogen fertilizers. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:597-601, 1976.
- PINNA, J. & VALDIVIA, S. Nitrogen volatilization from urea applied as a top dressing or buried in calcareous sugarcane soils. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 16, São Paulo, 1977. *Proceedings*. São Paulo, s.ed., 1978. p.1455-62.

- PROKSCH, G. Routine analysis of ^{15}N in plant material by mass-spectrometry. *Plant Soil*, 31:380-4, 1969.
- TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. *Adv. Agron.*, 31:189-223, 1979.
- TERMAN, G.L. & HUNT, C.M. Volatilization losses of nitrogen from surface-applied fertilizers, as measured by crop response. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28: 667-72, 1964.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA La Molina, Lima, Perú. Consumo de fertilizantes por localidades de las zonas agrarias en el Perú. Lima, 1976. v.1, 150p. Mimeografado.
- VLEK, P.L.G. & CARTER, M.F. The effect of soil environment and fertilizer modification on the rate of urea hydrolysis. *Soil Sci.*, 136:56-64, 1983.
- VOLK, G.M. Efficiency of fertilizer urea as affected by method of application, soil moisture and lime. *Agron. J.*, 58:249-52, 1966.