

Prácticas de Manejo de N para una Agricultura Sustentable en Suelo Ferralítico Rojo

Graciela Dueñas¹, Teodoro López², Haydee Irigoyen¹, Marcela Hernández¹, José Molina¹, Marylin Biart¹, Aida Martínez³, Sigilfredo Jiménez³, Angel López⁴, Jorge Fernández⁴.

**¹ Dirección Provincial de Suelos “La Renée”. Instituto de Suelos, Cuba.
Carretera de Bejucal- Quivicán, Km 33½. Quivicán. Habana.
Email: larenee@ceniai.inf.cu. Telef: 81792**

INTRODUCCION

Antes del vertiginoso incremento de la utilización de los fertilizantes nitrogenados, en 1945, el nivel de producción de los cultivos se basaba, fundamentalmente, en la capacidad de aportar N por el suelo; los agricultores dependían por completo de la fijación biológica del N y de un uso juicioso del manejo del suelo y de la rotación de cultivos (Stanford, 1992).

A partir del auge de la quimización de la agricultura los agrónomos y científicos en todo el mundo desarrollaron estudios para establecer la capacidad de los suelos de aportar nitrógeno y predecir los requerimientos de fertilizantes nitrogenados. La mayor parte de estos primeros estudios se basaban en la selección de métodos en condiciones de incubación, (Smith y Sharpley, 1990); sin embargo, pocos laboratorios han podido utilizar estos métodos de forma rutinaria debido, por una parte, a que consumen mucho tiempo y no son adecuados para análisis masivos, por otra parte, no tienen en cuenta el N residual aportado por fertilizaciones anteriores. Los métodos químicos como índice de disponibilidad de nitrógeno resultan convenientes por poseer rapidez y precisión, no obstante, han sido criticados por la imposibilidad de disponer de un procedimiento de extracción que simulen la acción de los microorganismos en liberar formas de N del suelo disponible a las plantas (Stanford, 1978).

Las transformaciones que sufren las diferentes fracciones de este elemento en el suelo han dificultado la selección y calibración (mediante la correlación con la respuesta de las plantas) de un método de determinación de N, como diagnóstico de la fertilidad del suelo. Todo esto ha traído como consecuencia que en la mayoría de los países,

incluyendo Cuba, las dosis de nitrógeno que se aplican en las áreas productivas a los diferentes cultivos se han determinado por experimentos de campo (niveles de nitrógeno), en una condición de suelo y manejo determinado, que se extrapolan a los suelos con características semejantes a las que tenían las áreas experimentales. En general estas recomendaciones han sobrestimado las necesidades de las plantas. En cultivos como la papa las aplicaciones excesivas de N ha dado lugar a la acumulación de NO_3^- en la producción agrícola, sin embargo, los incrementos en los rendimientos no han justificado las elevadas normas de aplicación del fertilizante nitrogenado.

Un interés renovado tiene esta temática en la actualidad tanto por las consecuencias económicas como con las relacionadas con la afectación del medio ambiente. Se destaca, en particular, el desarrollo de los sistemas de predicción de los requerimientos de N por los diferentes cultivos (Stanford y Smith, 1977; Oyanedel y Rodríguez, 1977; Magdoff , 1990).

Desde otro punto de vista es necesario conocer en cada sistema suelo - planta el aporte de nitrógeno del suelo. El reciclaje de los nutrientes es la llave para el éxito de un sistema agrícola sostenible donde se minimicen las pérdidas y se optimice la utilización de los nutrientes del suelo (King, 1990).

Ante las nuevas alternativas al uso de fertilizantes con que se enfrenta el agricultor, el conocer y mantener las reservas nitrogenadas del suelo debe ser su primera preocupación; el desarrollo sostenible que permita elevar la eficiencia de los fertilizantes y la conservación del nivel de fertilidad de los suelos, debe ser objetivo priorizado de la práctica agrícola, no solo en Cuba sino en el resto de los países y en particular del Tercer Mundo.

En el presente trabajo se exponen algunos resultados obtenidos en la evaluación de prácticas de manejo de N con vistas a una producción agrícola sustentable en suelo Ferralítico Rojo.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se condujo en la Estación Experimental “La Renée” durante el período 1980-2000. El mismo versó sobre la utilización eficiente del N en sistemas agrícolas sobre suelo Ferralítico Rojo representativos de la producción agrícola de la provincia La Habana.

Para cumplimentar los objetivos propuestos se realizaron investigaciones de laboratorio, invernadero, tanques lisimétricos y campo, los que se exponen a continuación en relación a las etapas de trabajo desarrolladas.

Determinación de la dinámica del nitrógeno.

Para la evaluación de la dinámica de N del suelo se desarrollaron experimentos en condiciones de campo con los cultivos de plátano, tomate, papa y maíz: las características de cada experimento se describen a continuación:

Cultivo	Parcela	Kg Nha ⁻¹	Aplicación fertilizante	Duración
Papa (var. Desiree)	37.8 m ²	0, 150, 225	½ siembra, ½ 30 días	90 días
Maíz (Híbrido H-T66)	37.8 m ²	0, 150, 225	1/3 siembra, 2/3 30 días	120 días
Tomate (var. Campbell)	42 m ²	0, 120, 180	1/3 siembra, 2/3 30 días	120 días
Plátano (var. Cavendish gigante)	120 m ²	0, 150, 600 g N/plantón	½ inicio de la plantación ½ a los 120 días	1 año

Se determinaron semanal o quincenalmente las fracciones de N mineral y orgánico del suelo a diferentes profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cms) según las metodologías de Andreieva y Sheglova (1977) y Bremner (1965). Los resultados fueron evaluados por un análisis factorial.

Optimización del manejo del N del suelo y del aplicado.

Calibración y selección de métodos analíticos para la determinación de nitrógeno.

En condiciones de casa de cristal se condujeron 8 ensayos de niveles de nitrógeno en macetas de 2.5 Kg de suelo de capacidad, y maíz como cultivo indicador. Se

correlacionó el análisis inicial de nitrógeno del suelo según los diferentes métodos evaluados, utilizando como variables de respuesta el rendimiento, expresado como: % rendimiento relativo, extracción máxima, rendimiento del tratamiento no fertilizado, extracción del tratamiento no fertilizado. Se seleccionaron los métodos que mayor R^2 proporcionaron. También se realizó una correlación con el valor A establecido mediante el método isotópico.

Los métodos seleccionados se correlacionaron en condiciones de campo, con la respuesta de los cultivos papa y maíz.

Adecuación del uso del análisis del nitrógeno del suelo, para la estimación de la dosis de N a aplicar.

Una vez establecido el método analítico de determinación de nitrógeno del suelo que correlacionara con la respuesta del cultivo, la factibilidad del almacenamiento de las muestras de suelo y los componentes de balance de nitrógeno, se validó, en condiciones de campo, la fórmula recomendada por Stanford (1973) para el cálculo de la dosis de N a aplicar. En este trabajo se utilizaron experimentos de niveles de nitrógeno y el cultivo de la papa, donde se compararon, mediante la prueba de t de Student, las dosis óptimas de nitrógeno estimadas por curvas de respuesta con la dosis estimada con la fórmula:

$$\text{Dosis} = \frac{N_y - N_s}{E_f}$$

N_y - requerimiento de N para un rendimiento esperado.

N_s - aporte de N del suelo, es decir, $N_s = (1 - \%N_{ddf})$ Análisis N del suelo.

E_f - eficiencia del fertilizante.

Se utilizaron los valores de E_f y $\%N_{ddf}$ obtenidos en el experimento de Balance de N que se realizó con el isótopo N-15 en condiciones de tanques lisimétricos.

Validación en condiciones de producción del método analítico seleccionado.

En 18 campos de producción de papa de las 7 Empresas de Cultivos Varios de La Habana se validó método seleccionado. Para ello, se relacionaron los contenidos iniciales de N del suelo con los rendimientos y los contenidos de NO_3^- en el tubérculo.

Reciclaje del N en sucesiones de cultivos.

Se realizaron ensayos en condiciones de campo para evaluar el reciclaje de N en la sucesión papa - maíz – papa. Se realizaron ensayos en condiciones de campo para evaluar el reciclaje de N en la sucesión frijol-maíz-frijol sobre suelo Ferralítico Rojo (Rhodic Ferralsol), en tres sitios experimentales: Estación Experimental “La Renée” del Instituto de Suelos y el Instituto Tecnológico “R. Martínez Villena” y en Estación Experimental de Riego y Drenaje "Pulido".

Acumulación de nitrato en el sistema suelo - planta - agua.***Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la contaminación por nitrato.***

Para evaluar la influencia de la fertilización nitrogenada sobre la acumulación de nitrato en aguas y productos agrícolas, se incluyeron ensayos de niveles de nitrógeno en condiciones de tanques lisimétricos y de campo.

Metodología para el monitoreo de áreas afectadas por contaminación por nitrato.

Se desarrolló una metodología que contempla tres aspectos imprescindibles a tener en cuenta en áreas afectadas por contaminación: la afectación sobre la salud humana, la calidad de las fuentes de abasto y los tenores de nitrato en los suelos y los productos agrícolas.

RESULTADOS Y DISCUSION***Determinación de la dinámica del N***

Comportamiento de las fracciones de N en condiciones de experimento de campo.

El fertilizante nitrogenado que se aplicó en todos los casos fue la urea. La urea es un fertilizante que se hidroliza rápidamente al ser aplicado al suelo, por la acción de la ureasa, dando como resultado un aporte de N amoniacal al suelo y un ligero incremento del pH del mismo, este amonio es posteriormente nitrificado con mayor o menor velocidad, en dependencia de las condiciones imperantes en el sistema.

Los contenidos de amonio de los suelos sembrados con plátano se incrementaron hasta los 30 días posteriores a la fertilización, momento a partir de del cuál el amonio fue disminuyendo mientras que en correspondencia, el nitrato aumentó, La máxima acumulación de nitrato ocurrió a los 60 días posteriores a la fertilización. Los incrementos de las concentraciones de N mineral en el suelo se debieron fundamentalmente al N aportado por la alta fertilización, aunque el N derivado de la mineralización y de la incorporación de los residuos contribuyeron a los elevados tenores de N mineral obtenidos así como al tiempo de permanencia de NH_4^+ y NO_3^- en el suelo, ya que este tipo de suelo se caracteriza por su alta velocidad de nitrificación.

En el suelo sembrado con tomate las concentraciones de amonio y nitrato de los suelos fertilizados mostraron diferencias significativas en los distintos momentos estudiados, las máximas concentraciones de amonio y nitrato se encontraron a los 15 y 21 días, respectivamente, de realizada la primera aplicación de nitrógeno. Las concentraciones de amonio y nitrato en el suelo aumentaron con relación a las dosis de N aplicadas, es necesario señalar lo peligrosos que resultan las aplicaciones excesivas de N a este cultivo, ya que el mismo puede acumular cantidades apreciables de NO_3^- , en el fruto, perjudiciales para la salud humana.

En el cultivo de la papa, el amonio presentó su máximo a los quince días de realizada la primera fertilización mientras que el nitrato a los 30 a partir de los 45 días las concentraciones de amonio de los tratamientos fertilizados y el testigo tendieron a igualarse, sin embargo el nitrato estuvo disponible durante la mayor parte del período experimental, sobre todo en el tratamiento superior al óptimo.

En el suelo sembrado con maíz las concentraciones de amonio y nitrato de los tratamientos fertilizados fueron semejantes a los contenidos de estas fracciones en el testigo.

Todo esto demuestra que el cultivo y el manejo determinan el comportamiento de las diferentes fracciones de N del suelo.

Selección de métodos analíticos para la determinación de nitrógeno.

De los métodos de amonio y nitrato estudiados, en condiciones de macetas, el que utiliza solución extractiva KCl N y posterior destilación correlacionó tanto con el rendimiento como con la extracción de N. El método de N fácilmente hidrolizable correlacionó con todas las variables de respuestas probadas, estos fueron los métodos seleccionados para la fase en condiciones de campo.

Correlación de los métodos analíticos estudiados con el valor A.

El análisis estadístico arrojó buena correlación entre el valor A y la capacidad de intercambio catiónico de los suelos estudiados, Tabla 1, teniendo en cuenta que el valor A representa el N disponible del suelo en relación a la dosis de N aplicada es lógico encontrar esta correlación, donde el valor A se encuentra muy ligado a la respuesta del suelo y a las características del mismo (Smith y Legg, 1971). El valor A correlacionó con el N asimilable y el N fácilmente hidrolizable. No se encontró correlación entre el valor A, el N total y la materia orgánica de los suelos.

Tabla 1. Resultados de la correlación entre métodos analíticos para la determinación de amonio, nitrato y N orgánico y el valor A

Valor A	CIC	% M.O.	N total	mg N/100g suelo		
				N min	N fac.h.	N asimilable [N min+Nfh]
243.75	22.50	3.60	180	4.27	8.10	12.37
244.32	22.75	3.65	180	6.10	9.50	15.60
260.50	23.12	3.95	200	6.10	10.01	16.11
260.80	23.00	2.56	140	6.95	12.10	19.05
275.15	23.50	2.40	120	5.45	12.50	17.95
280.20	23.50	3.95	200	6.75	12.95	19.70

280.40	23.70	4.47	220	6.80	13.15	19.95
280.40	23.70	4.45	220	8.70	13.50	22.20
280.50	23.70	4.96	250	6.50	13.95	20.45
290.04	23.90	4.00	207	8.00	14.50	22.50
303.86	24.09	4.20	215	8.75	14.95	23.70

Correlación entre el Valor A y CIC, Nfh, N asim.

y = A x = CIC r = 0.9910**

y = A x = Nfh r = 0.8346**

y = A x = Nasim r = 0.9248**

No se encontró correlación el Valor A y N total

%M.O., N min

Correlación entre %M.O. y N total.

y = %M.O. x = N total r = 0.8570**

Correlación en condiciones de experimento de campo.

De los métodos de N mineral evaluados en condiciones de campo solo se encontró correlación entre la respuesta del maíz y la determinación de NO_3^- hasta 60 cm de profundidad, Tabla 2, estos resultados no son sorprendentes considerando que en general, el nitrato se mueve en el suelo con el agua más allá de los 30 cm de profundidad y que este solo puede ser tomado por un cultivo de un profundo sistema radical como es el maíz. El método de N fácilmente hidrolizable correlacionó tanto con la respuesta del cultivo del maíz como con la del cultivo de la papa (en la capa de 0 - 30 cms de profundidad). La característica fundamental de este método es que durante el proceso de hidrólisis de la muestra con H_2SO_4 0.5N se extraen fracciones lábiles del N orgánico.

No se encontró correlación entre los métodos de N total estudiados y la respuesta de las plantas.

Tabla 2. Resultados del análisis de regresión entre las concentraciones de amonio, nitrato y N orgánico y el rendimiento de dos cultivos en condiciones de campo. Valores r, ajuste lineal.

Cultivo	Profundidad (cm)		Profundidad (cm)	
	0-30	0-60	0-30	0-60
	Amonio KCl N		Amonio KCl 0.25	
Maíz	0.20	0.20	0.15	0.10
Papa	0.15	0.35	0.20	0.10
	Nitrato KCl N		Nitrato KCl 0.25	
Maíz	0.30	0.60*	0.20	0.50

Papa	0.40	0.30	0.30	0.40
	N fácilmente hidrolizable		N Total	
Maíz	0.80**	0.30	0.15	0.10
Papa	0.98**	0.50	0.10	0.20

Adecuación del uso del análisis de N del suelo para el cálculo de la dosis de N. Empleo del isótopo N-15 en la evaluación de la disponibilidad de nitrógeno del suelo (al cultivo de la papa).

Para la utilización del análisis químico de N del suelo en la estimación de la dosis de N se requiere disponer de un método analítico que permita realizar una estimación lo más cuantitativa posible de la disponibilidad de N del suelo a la planta; el método más idóneo para validar esta estimación es el método isotópico.

De los métodos probados, el método de N fácilmente hidrolizable (análisis inicial del suelo) no difirió significativamente del contenido de N en planta, derivado del suelo (método isotópico).

Otros métodos como el de N total sobrestimaron la disponibilidad de N, o como los de N mineral lo subestimaron. El N mineral inicial, en la capa arable, es factible de perderse por lavado o volatilización y el aporte de nitrógeno del suelo al cultivo se realiza fundamentalmente a partir del nitrógeno mineralizado durante su ciclo.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que el método de nitrógeno fácilmente hidrolizable, además de correlacionar, es un método capaz de evaluar cuantitativamente la disponibilidad de nitrógeno al cultivo de la papa, en las condiciones estudiadas.

Cálculo de la dosis de N a partir del análisis de N del suelo.

No se encontraron diferencias significativas entre las dosis estimadas considerando el análisis de N fácilmente hidrolizable del suelo y las estimadas por curvas de respuesta, Tabla 3. Las dosis encontradas coincidieron, además, con el rango óptimo de fertilización establecido en experimentos de campo de varios años de duración, por Deroncelé (1985), para este cultivo; esto demuestra la validez tanto del método químico como de la vía de cálculo utilizada.

Tabla 3. Comparación entre la dosis estimada a partir del análisis de N fácilmente hidrolizable del suelo y la encontrada por curvas de respuesta.

Año	Nfh ppm	Dosis óptima calculada	Dosis óptima curva respuesta
1	64.5	105.6	100.5
2	58.1	119.3	130.5
3	52.2	132.3	140.8
4	44.5	148.3	150.4
5	46.5	142.5	145.8
6	41.5	154.2	155.6
7	36.6	165.3	170.1
8	38.7	160.8	165.2
\bar{x}		141.1	144.8
t calculada = 0.85			
95% probabilidad de error			
t tabla = 2.36			
95% probabilidad de error			

La estimación puede ser corregida considerando los valores de componentes del balance de nitrógeno como volatilización y lavado. Recomendaciones de fertilizantes elaborados de esta forma permiten realizar estimaciones más precisas y que requieran menos recursos que las realizadas mediante experimentos de campo.

Validación del método de determinación de nitrógeno fácilmente hidrolizable en áreas productivas.

El estudio realizado en campos de producción de papa en diferentes Empresas de Cultivos Varios de La Habana demostró que según las dosis estimadas (en base al análisis de N del suelo), ni las áreas en estudios necesitaban más de 180 kg N ha⁻¹, ni los bajos rendimientos obtenidos en esos campos se debieron a deficiencias nutrimentales, por el contrario las dosis aplicadas fueron, en general excesivas, Tabla 4.

Los resultados obtenidos demuestran la necesidad de considerar la disponibilidad de N del suelo en la recomendación de la dosis a aplicar, pero que para obtener un pronóstico óptimo tanto de los requerimientos de N como de los rendimientos esperados es necesario optimizar no solo los aspectos referentes a la estimación de la dosis de nitrógeno sino también de aquellos relacionados con la agrotecnia del cultivo.

Tabla 4. Datos obtenidos en campos de producción de papa de Empresas de Cultivos Varios La Habana.

Empresa	Campo	Dosis aplicada	Rdo. q/cab.	N. f h. ppm.	Dosis calculada
Batabanó	SIST. 4	220.58	5054	57	121.82
M. Soneira	Guadalupe	75.15	4053	104.48	No necesita
	UBP-32	177.91	3594	103.60	No necesita
	F1	186.25	4670	79.80	71.39
Güira de Melena	9 Abril	119.45	32.08	68.30	96.82
	Etiopía	198.21	3970	92.29	43.76
	Dominguillo	322.41	2010	96.08	35.38
Artemisa Melena	La Nena	226.48	3623	59.63	116.0
	Sta. Rosa	294.91	2200	87.27	54.86
	Gatica	285.89	3500	76.77	78.09
19 Abril	118 y 119	228.76	4101	86.49	56.59
Valle del Perú	Rafael y C.	81.95	5789	155.4	No aplica
	C-1	81.95	4640	109.2	No aplica
	C-4	81.95	4640	112.0	No aplica
	C-23	81.95	5695	93	42.19
	C-22	81.95	6750	85.4	59
	C-24	81.95	6750	89.6	49.17
	La Luisa	81.95	5789	155.4	No aplica

Reciclaje de N en una sucesión de cultivos.

Los resultados que aparecen en la Tabla 5 demuestran el efecto beneficioso de incorporar los residuos de cosecha al subsiguiente cultivo. Así, los residuos de frijol aportaron al maíz, en sucesión, alrededor de 20 kg N ha⁻¹.

Tabla 5. Resultados obtenidos por el método isotópico. Cultivo: maíz.

Sitio	Tratamiento	Rdto N (Kg N ha ⁻¹)	N aportado por los residuos (kg N ha ⁻¹)	% Nddf	Rend. N-fert. (kg N ha ⁻¹)	% EUN-fert.
La Reneé	Sin cultivo-maíz	69.46	-	12.91	8.96	22.97
	Frijol-maíz	91.28	21.82	14.57	13.28	34.06
Villena	Sin cultivo-maíz	60.35	-	10.50	6.33	16.23
	Frijol-maíz	79.20	18.85	12.95	10.25	26.28

El manejo de la fertilización nitrogenada en la sucesión de cultivos puede conllevar tanto a la disminución de las dosis de N a aplicar, como a la de acumulación de nitratos en los sistemas agrícolas como lo demuestran los resultados que se muestran en las

Tablas 6 y 7. Los resultados obtenidos por el método isotópico, en el maíz, demostraron la existencia de una cantidad considerable de N residual proveniente del cultivo precedente (papa, primer año). Este N, acumulado en el sistema, puede ser usado por el maíz, en dependencia de la dosis de N aplicada al maíz.

La aplicación de 100 kg N ha⁻¹ al maíz junto con el precedente de la aplicación previa de fertilizantes disminuyó la utilización del fertilizante e incrementó la concentración de nitrato en el agua, el rendimiento del maíz, no justificó, en tales condiciones, la aplicación al maíz de niveles de N por encima de 30 kg N ha⁻¹. La influencia del manejo del cultivo previo sobre el actual se muestra en la Tabla 6 donde se observan las consecuencias de no tomarse en cuenta la disponibilidad de N acumulado en el sistema donde se encontró una disminución de la utilización del fertilizante nitrogenado por la papa y el incremento de la concentración de nitrato en particular en los tubérculos.

Tabla 6. Resultados obtenidos por el método isotópico en condiciones de campo (Estación Experimental La René) Cultivo: Maíz

Tratamiento	Fertilización maíz	Rend maíz (KgN.ha ⁻¹)	Ndff (%)	Extrac N (Kg N.ha ⁻¹)	Eficiencia del fertilizante N (%)
Sequencia papa-maíz-papa	30 kg N.ha ⁻¹ *	75.42	15.05	11.35	37.83
	100 kg N.ha ⁻¹ *	85.80	8.5	7.29	7.29

Fertilización de la papa = 180 kg N.ha⁻¹ * urea 10% a. e. ¹⁵N

Tabla 7. Resultados obtenidos por el Método isotópico en condiciones de campo Cultivo: papa (segundo año)

Fertilización del cultivo anterior	Utilización del fertilizante nitrogenado (%)	NO ₃ ⁻ en tubérculo (mg kg ⁻¹)
Maíz 30 kg N ha ⁻¹ *	44.50	150
Maíz 100 kg N ha ⁻¹ *	35.20	250

Acumulación de nitrato en el sistema suelo - planta - agua.

Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la contaminación por nitrato.

En condiciones de experimento de campo y con el cultivo de la papa se desarrollaron experimentos de niveles de nitrógeno para evaluar la influencia de la dosis sobre la concentración de nitrato en el peciolo de la hoja índice, y en el tubérculo. Los resultados alcanzados muestran el efecto de las dosis crecientes de N en el contenido de nitratos en los peciolos, en los diferentes estadios, ya que este índice se encuentra estrechamente vinculado a la fisiología de la planta, que a los 55 dds es cuando se alcanza su más alta expresión, y posteriormente disminuye en el inicio del proceso de tuberización, se encontró una relación directa entre el aumento de las dosis de N, el contenido de nitrato en el tubérculo y el contenido de nitrato en el peciolo de la hoja índice (cuarta hoja). Este análisis es utilizado, en diferentes países, como método diagnóstico de los requerimientos nutrimentales de N así como índice de acumulación de nitrato en la cosecha

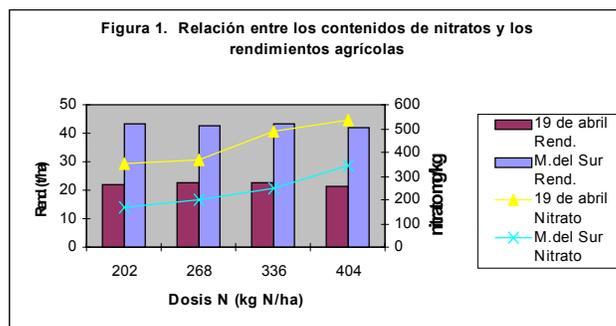
Para el caso de los tubérculos se encontró una tendencia a la elevación de los contenidos de nitratos con el incremento de la dosis, siendo superiores a la concentración recomendada como óptima por Batlle et al. (1990) de 250 mg kg^{-1} , ya que este es el punto donde se obtiene el mayor rendimiento y la menor concentración de nitrato en el tubérculo, aunque es necesario señalar que la Concentración Máxima Permisible (C.M.P.) aprobada en Cuba es de 300 mg kg^{-1} .

Respecto a lo antes planteado, se señala; según Cuttle et al. (1995); que la acumulación de NO_3^- en forma excesiva en las cosechas, viene dado por la aplicación creciente de fertilizantes minerales y orgánicos, que estos valores podrán ser menores cuando se haga un uso más eficiente del nitrógeno.

El análisis de suelo reflejó de forma evidente que en este suelo la fertilización nitrogenada incrementó el contenido del nitrato, reportándose los valores más altos a los 55 dds.

En condiciones de producción y sobre la base de la fertilización empleada en la misma, Figura 1, se encontró que los contenidos de nitrato dependieron del nivel de rendimiento obtenido y en este sentido los mayores rendimientos y las menores concentraciones de nitrato se obtuvieron en la Empresa Melena del Sur, pero para cada nivel de rendimiento se encontró que el aumento de la dosis conllevó al incremento de la concentración de nitrato en los tubérculos. También se evidenció que el aumento de

la dosis no conllevó al incremento en los rendimientos agrícolas, entonces puede afirmarse que la aplicación de una dosis adecuada y una agrotecnia que permita alcanzar elevados rendimientos garantizarán un contenido mínimo de nitrato en las producciones agrícolas.



Conclusiones.

- Se desarrolló una metodología para la recomendación de fertilización nitrogenada al cultivo de la papa a partir de los contenidos iniciales de nitrógeno fácilmente hidrolizable del suelo. Las dosis de fertilizante estimadas por esta metodología no difirieron significativamente de la ajustada por curvas de respuesta (105 - 165 Kg N ha⁻¹).
- De los métodos de nitrógeno estudiadas para estimar el contenido de N del suelo el método de N fácilmente hidrolizable correlacionó en condiciones de macetas con el %RR, rendimiento del tratamiento no fertilizado, la máxima extracción y la extracción del tratamiento no fertilizado del cultivo del maíz, y con el rendimiento de los cultivos de maíz y papa en condiciones de campo. (0 - 30 cms de profundidad). Los coeficientes de correlación obtenidos variaron en el rango de 0.76 - 0.98.
- En condiciones de campo la correlación de la fracción nitrato dependió de la profundidad del muestreo y del tipo de cultivo.
- Las máximas acumulaciones de amonio nativo del suelo ocurrieron a los 7 días de humedecido el mismo y los de nitrato entre los 14 - 21 días, con predominio del proceso de nitrificación. El comportamiento y concentración del N mineral y orgánico

del suelo bajo explotación agrícola depende de las condiciones que prevalezcan en el sistema suelo - planta - fertilizante.

- La fertilización y el tipo de cultivo influyeron en la acumulación de NO_3^- hasta 60 cm de profundidad cuyos tenores variaron desde 5.8 mg kg^{-1} para el cultivo del maíz hasta 230 mg kg^{-1} para el cultivo del plátano.
- Las aplicaciones crecientes de fertilizante nitrogenado conduce a un incremento del tenor de nitratos en el suelo y a una creciente acumulación de nitratos en el peciolo de la hoja índice (a los 55 días) y en el tubérculo, los que pueden exceder la CMP con el empleo de las dosis elevadas.
- El manejo adecuado de la fertilización nitrogenada y de la disponibilidad de N del suelo en la sucesión de cultivos disminuye la acumulación de nitrato en los sistemas agrícolas y debe ser considerada como otra alternativa para la disminución de la contaminación nitrato.