

TERRA
Latinoamericana

Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,
A.C.
México

Peña Cabrales, J. J.; Grageda Cabrera, O. A.; Vera Núñez, J. A.
Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (15n)
Terra Latinoamericana, vol. 20, núm. 1, enero-marzo, 2002, pp. 51-56
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320109>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

MANEJO DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS EN MEXICO: USO DE LAS TECNICAS ISOTOPICAS (^{15}N)

Nitrogen Fertilizer Management in Mexico: Use of Isotopic Techniques (^{15}N)

J.J. Peña-Cabriales¹, O.A. Grageda-Cabrera² y J.A.Vera-Núñez¹

RESUMEN

La fertilización constituye uno de los principales factores que limitan la producción agrícola, pues los cultivos absorben sólo una fracción del fertilizante aplicado que oscila entre 10 y 60%. En México, en los últimos 40 años, el consumo de fertilizantes N-P-K se ha incrementado de 5×10^4 Mg a más de 5.5×10^6 Mg. Sin embargo, el uso de este insumo no ha sido el más adecuado y se han presentado problemas de contaminación ambiental. El propósito de esta contribución es destacar algunos de los estudios realizados en México, empleando técnicas isotópicas (^{15}N), en particular sobre el ciclo del nitrógeno y sus implicaciones agronómicas y ecológicas.

Se ilustra principalmente experiencia generada por el CINVESTAV-IPN, Unidad Irapuato, durante los últimos 10 años a través de proyectos financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica en la zona del Bajío, México.

Palabras clave: ^{15}N -eficiencia, estiércol, lodo, sorgo, trigo.

SUMMARY

In Mexico, in the last 40 years, fertilizer consumption has increased from 5×10^4 Mg to 5.5×10^6 Mg. However, in some agricultural regions there is irrational management of this input, resulting in potential environmental contamination. The objective in this paper is to show some studies carried out in an important region known as "El Bajío", Mexico, using isotopic techniques (^{15}N) particularly on the N cycle and its agronomic and ecological impact. During the last 10 years, the

Irapuato Unit of CINVESTAV has generated experience through several projects dealing with N fertilization supported by the International Atomic Energy Agency.

Index words: ^{15}N -efficiency, manure, sludge, sorghum, wheat.

INTRODUCCION

En México, el uso de fertilizantes químicos se inició a principios del siglo pasado y la producción de los mismos en 1915 (Reyes-Castañeda, 1981). La utilización de fertilizantes sólidos es mayor que el uso de líquidos y gases (FERTINAL, 1994); estas últimas fuentes se utilizan en zonas más tecnificadas, como el Bajío-Guanajuato, valle de Sinaloa y valle del Yaqui-Sonora. Existen, en México, otras zonas agrícolas de gran importancia por el tipo de cultivo, como caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), que se produce en el trópico húmedo en Tabasco, donde el uso de fertilizantes es parte esencial en los sistemas de producción (SARH, 1991).

En México, el empleo de fertilizantes no es uniforme a lo largo del territorio nacional dedicado a la agricultura y se ha concentrado en áreas específicas donde se desarrolla una agricultura intensiva. Para ilustrar los rasgos más sobresalientes de estas regiones se citará el siguiente ejemplo de una zona de gran repercusión agrícola: "El Bajío".

El Bajío, considerada una de las zonas más productoras, tanto por el número de especies que se cultivan como por la superficie (5×10^5 ha), e importancia que ocupan algunas de ellas, ya que, con sólo 4.73% de la superficie nacional cultivada, contribuye con 6.16% al ingreso agrícola. Esta región constituye una de las principales entidades productoras de granos y hortalizas, así como exportadora de las mismas (Etchevers-Barra, 1996). Por otro lado, en esta zona agrícola se utiliza aproximadamente 15% (1.5×10^5 Mg N) del total de fertilizantes N distribuidos en el país (Peña-Cabriales y Grageda-Cabrera, 1997). En esta región, destaca la rotación intensiva de cereales y hortalizas, la

¹Laboratorio de Microbiología Ambiental, CINVESTAV-Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato. Apartado Postal 629, Irapuato, Gto., México.

(jpena@ira.cinvestav.mx)

²INIFAP-CAEB/Celaya.

capacidad de los suelos (principalmente, arcillosos tipo Vertisol) para suministrar nutrimentos a los cultivos se ha mantenido, en especial durante los últimos 30 años, a través de la aplicación de dosis cada vez mayores de fertilizantes químicos. El uso de abonos verdes, la rotación con leguminosas e incorporación de residuos agrícolas y pecuarios no se emplean en el mantenimiento de la fertilidad de los terrenos agrícolas. Esto ha producido una drástica disminución en el contenido de materia orgánica (MO) de los suelos.

Numerosos estudios han demostrado la bondad de las técnicas nucleares (^{15}N) para poder evaluar con precisión y rapidez, el aporte de nitrógeno proveniente de fertilizantes químicos (época, fuente y forma), abonos verdes, lodos y estiércoles, en los cultivos de importancia agrícola, pues permiten medir la cantidad de nutrimento que la planta está tomando de las diferentes fuentes evaluadas (Bowen y Zapata, 1990; Zapata, 1990).

Problemática Regional: El Caso de "El Bajío", Guanajuato, México

Con el propósito de ofrecer una idea clara de la problemática común de las grandes zonas agrícolas de México, el presente balance sintetiza tanto la información estadística disponible sobre la producción agrícola, como el consumo de fertilizantes nitrogenados en la región de "El Bajío", Guanajuato. En El Bajío en Guanajuato, 80% del área agrícola está destinada a la producción de cereales y hortalizas, siendo estos cultivos: trigo (*Triticum aestivum* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* Moench), maíz (*Zea mays* L.) y brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica* Plenck), con un sistema de rotación intensiva. Se discute también una serie de experimentos efectuados sobre diversos tópicos del ciclo del nitrógeno (absorción de N por los cultivos, mineralización, nitrificación, desnitrificación y volatilización), para lo cual se emplearon técnicas convencionales (cromatografía de gases y colorimétricas) como isotópicas (^{15}N).

La producción agrícola en esta zona requiere de altas dosis de N y agua para mantener la productividad. En este sentido, el cultivo de trigo se fertiliza con aproximadamente 350 kg N ha^{-1} para un rendimiento promedio de 5.5 Mg ha^{-1} , rendimiento que se ha mantenido durante los últimos 15 años, aunque la dosis de N aplicado como fertilizante ha aumentado en este período.

Es importante mencionar que en esta zona agrícola se concentra 25% de los pozos de agua del país, insumo del cual depende principalmente el cultivo de trigo. En general, la producción en el ciclo de invierno, con altas dosis de fertilización, empleando grandes y numerosas láminas de riego, tornan potencialmente vulnerable a los mantos freáticos fuente de agua para uso agrícola e inclusive humano.

Con los datos obtenidos de la información estadística, se generó un balance teórico de N para los principales cultivos de "El Bajío", Guanajuato: maíz, trigo, sorgo y brócoli (Cuadro 1). En este cuadro se observa que la recuperación del N disponible por los cultivos es alrededor de 60%, lo cual indica que de los $1.15 \times 10^5 \text{ Mg N año}^{-1}$ aplicados como fertilizantes, se desconoce el paradero de $4.6 \times 10^4 \text{ Mg N año}^{-1}$. En términos concretos, se desconoce el destino de aproximadamente $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ de cultivo (Grageda-Cabrera *et al.*, 2000a).

Es preciso enfatizar que los procesos involucrados que parecen ser las mayores fugas de N (lixiviación y desnitrificación) se encuentran estrechamente ligados con el manejo del agua. Por lo general, los agricultores de la región realizan la práctica de fertilización y, posteriormente, saturan de agua el terreno, provocando el lavado del fertilizante. Además, los suelos presentan agrietamientos muy pronunciados lo que, sumado al alto contenido de arcillas, favorece condiciones de anoxia que pueden

Cuadro 1. Balance teórico de nitrógeno en diferentes sistemas de producción agrícola en "El Bajío", Guanajuato, México.

Componente	Maíz	Trigo	Sorgo	Brócoli
	- - - - - Mg N año^{-1} - - - - -			
N extraído				
Grano	5 072	15 630	19 864	-
Paja	2 755	7 034	16 553	-
Tallos y hojas	-	-	-	1 750
Florete	-	-	-	2 450
N introducido				
Incorporado	551	1 407	3 311	980
Quemado	-	5 627	13 242	-
Mineralizado	110	281	622	392
No mineralizado	441	1 126	2 649	588
Fertilizante	13 105	45 470	38 948	18 000
Disponible	13 225	45 751	39 611	18 399
Recobrado	7 827	21 257	33 106	9 196
No contabilizado	5 829	24 494	6 505	9 196
Total no contabilizado				46 024

Fuente: Grageda-Cabrera *et al.* (2000a).

durar más de 24 h. Por consiguiente, se inició hace 10 años una serie de experimentos empleando métodos isotópicos con el objetivo de optimizar el manejo del N a través de prácticas en los principales cultivos de la región del Bajío, México.

Manejo de Fertilizantes Químicos Nitrogenados

Para el agricultor es de fundamental importancia conocer cuándo aplicar el fertilizante para optimizar la absorción por el cultivo y minimizar las pérdidas potenciales del nutrimento por las transformaciones microbianas que se dan en el suelo. Es decir, identificar el mejor momento de aplicación, durante el ciclo de desarrollo del cultivo, para promover la mayor absorción por las plantas cultivadas y disminuir así el riesgo de contaminación ambiental, tanto de acuíferos por NO_3^- o de contaminación de la atmósfera por formas gaseosas de N como NO , N_2O y NH_3 .

Trigo (*Triticum aestivum* L.)

En 1996, se realizó un experimento en un suelo Vertisol pélico de textura arcillosa y con 1.38% de materia orgánica de "El Bajío", Guanajuato, México, con el cultivo de trigo "Saturno". Se aplicó una dosis total de 320 kg N ha^{-1} como sulfato de amonio enriquecido con 1.03% ^{15}N átomos en exceso; esta dosis se fraccionó a razón de 160 kg N ha^{-1} y se aplicó durante la siembra y a 50 días después de la siembra (dds), con dos sistemas de manejo de residuos de sorgo, quemado vs. incorporado. La quema de residuos de sorgo es una práctica común implementada desde la década de los 60's, como una alternativa para acelerar la preparación de las parcelas agrícolas para el siguiente ciclo de cultivo de invierno (trigo), así como debido al hecho de que esta práctica genera un incremento sustancial en el rendimiento de grano de trigo (15 a 20%). Sin embargo, esta práctica tiene cada vez más restricciones, no sólo debido a las grandes emisiones de CO_2 que son liberadas a la atmósfera y que llegan a producir accidentes viales por la falta de visibilidad, sino también por el gran deterioro del recurso suelo, en particular, en el mantenimiento de la materia orgánica. Lamentablemente, el número de incendios en áreas forestales vecinas a la zona agrícola ha aumentado alarmantemente en los últimos años.

Los resultados confirman observaciones previas que el rendimiento fue consistentemente mayor en los

tratamientos donde el residuo de sorgo fue quemado en comparación con el tratamiento donde el residuo se incorporó, además, la acumulación de N por el cultivo de trigo disminuyó significativamente a un promedio de 45 kg N ha^{-1} cuando los residuos de sorgo se incorporaron (Cuadro 2). Similares resultados se observaron en cuanto al N derivado del fertilizante en ambos sistemas de manejo de residuos. Por otro lado, la cantidad de N derivado del fertilizante fue 41.7 y $28.1 \text{ kg N ha}^{-1}$ para el tratamiento de la quema de residuos e incorporación de los mismos, respectivamente, aunque el porcentaje de N derivado del fertilizante fue similar para ambos tratamientos (25 y 28%, respectivamente). Estos resultados probablemente se debieron a un efecto de incorporación de nutrimentos, como se ha reportado en otros sistemas (Hughes, 1979), y a una inmovilización del N (Mary *et al.*, 1996).

La información generada en el presente trabajo ilustra claramente que la cantidad de N aplicada al cultivo de trigo excede a la cantidad de asimilación del mismo, también principalmente indica cómo la incorporación de residuos de cosecha puede ayudar a disminuir las pérdidas de N en el sistema de producción y en el largo plazo puede llegar a significar un incremento del contenido de N orgánico del suelo (Grageda-Cabrera *et al.*, 2000b).

Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Experimentos realizados con el cultivo de sorgo "Master" en "El Bajío", Guanajuato, donde los suelos predominantes son Vertisoles pélicos de textura arcillosa, ligeramente alcalinos con bajo contenido de materia orgánica y N total, se evaluaron las fuentes de N: urea (U), nitrato de amonio (NA) y sulfato de

Cuadro 2. Rendimiento y eficiencia de recuperación de nitrógeno derivado del fertilizante por el cultivo de trigo en "El Bajío", Guanajuato, México.

Residuo	Fertilización		Rendimiento	Eficiencia
	0 dds	50 dds		
	- - kg N ha^{-1} - -		Mg ha^{-1}	%
Quemado	320^\dagger	0	4.91	22.8
	160^\dagger	160	6.43	28.3
	160	160^\dagger	6.01	30.6
Incorporado	320^\dagger	0	3.31	16.2
	160^\dagger	160	4.33	15.6
	160	160^\dagger	4.24	22.3

dds = días después de la siembra.

† aplicación de sulfato de amonio 1% átomos ^{15}N en exceso.

amonio (SA), marcadas con 1% átomos ^{15}N en exceso, aplicadas a razón de 180 kg N ha $^{-1}$ en diferentes tiempos y fraccionamientos.

Los resultados no mostraron diferencias estadísticas significativas en rendimiento de grano por efecto de los tratamientos en estudio. Sin embargo, el fraccionamiento isotópico del N en la planta presentó diferencias significativas entre tratamientos. El SA presentó la mayor eficiencia y contribuyó con 44% del N total del cultivo, mientras que la U proporcionó sólo 37%. Por otro lado, la aplicación, en el momento de la siembra, presentó las mayores eficiencias de recuperación (40 a 65%) en comparación con las aplicaciones en la etapa de floración (15 a 20%) del cultivo de sorgo (Cuadro 3). Esto indica que el N del suelo proporciona más de 50% de los requerimientos de N para el cultivo de sorgo, lo cual concuerda con otros estudios (Hart *et al.*, 1986).

Los resultados de los esquemas de fertilización estudiados permiten concluir que la división de la dosis total en tres aplicaciones se tradujo en una mayor utilización de urea y sulfato de amonio, mientras que para nitrato de amonio se observó una máxima utilización cuando la dosis total se fraccionó en dos aplicaciones. En general, las aplicaciones del fertilizante en el momento de la floración presentaron un mínimo de incorporación de N por el cultivo de sorgo.

Manejo de Fertilizantes Orgánicos

La aplicación de residuos orgánicos al suelo es uno de los factores más importantes que influyen sobre el nivel de MO del mismo. Asimismo, la mineralización de estos residuos representa un punto clave para regular la cantidad de N disponible en el suelo. Sin embargo, los sistemas de producción agrícola intensiva dependen de la aplicación de fertilizantes químicos para mantener la producción; como consecuencia, el N mineral decrece provocando un declive en el contenido de MO. En México, son escasos los ensayos isotópicos realizados para evaluar el aporte de nutrimentos para los cultivos; sin embargo, a continuación se presentan resultados obtenidos con dos fuentes de nutrimentos muy importantes en México: los estiércoles y los lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Estiércoles. Experimentos de invernadero se condujeron para evaluar la eficiencia relativa de fuentes orgánicas de N para las plantas. Los

Cuadro 3. Eficiencia de recuperación de nitrógeno proveniente del fertilizante por el cultivo de sorgo en "El Bajío", Guanajuato, México.

Fuente	Fertilización			Recuperación
	0 dds	45 dds	92 dds	
	kg N ha $^{-1}$			
Urea	90 [†]	90	0	19.11
	90	90 [†]	0	23.06
	60 [†]	60	60	20.45
	60	60 [†]	60	17.98
	60	60	60 [†]	7.98
Nitrato de amonio	90 [†]	90	0	25.28
	90	90 [†]	0	24.27
	60 [†]	60	60	18.17
	60	60 [†]	60	18.06
	60	60	60 [†]	9.71
Sulfato de amonio	90 [†]	90	0	26.59
	90	90 [†]	0	21.74
	60 [†]	60	60	25.72
	60	60 [†]	60	21.74
	60	60	60 [†]	6.67

dds = días después de la siembra.

[†] Aplicación de fertilizante marcado con ^{15}N .

materiales estudiados fueron: estiércol de ganado vacuno (C/N = 23.4), caprino (C/N = 20.2), conejo (C/N = 16.1) y gallinaza (C/N = 7.9), así como abono verde de *Azolla filiculoides* (C/N = 12.1) aplicados a una dosis de 200 mg kg $^{-1}$ (macetas con 3 kg de suelo Vertisol) y se aplicó como fuente marcada sulfato de amonio enriquecida con 10% átomos ^{15}N en exceso (80 mg kg $^{-1}$). Se utilizó ballico (*Lolium multiflorum*) como planta indicadora a diferentes tiempos de muestreo.

Los resultados mostraron diferencia en las variables de materia seca, rendimiento y porcentaje de N en cada uno de los cortes (Cuadro 4).

En cuanto a la eficiencia relativa de los abonos orgánicos, en el primer corte se observó que los materiales con relación C/N más baja mostraron una alta eficiencia, lo cual indica que el suministro de N por las diferentes fuentes orgánicas en estudio o equivalencia con sulfato de amonio es muy cercana a la unidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los materiales evaluados podrían clasificarse en tres grupos diferentes en cuanto a eficiencia como fuentes nutrimentales: aquellas de mineralización rápida (gallinaza y *Azolla*), lenta (vacuno) e intermedia (conejo y caprino). De igual manera, se observó que la relación C/N de las fuentes orgánicas determinaron su tasa de mineralización (Vázquez-Navarro *et al.*, 1994), mientras más baja, la disponibilidad de N para

Cuadro 4. Parámetros isotópicos y eficiencia relativa de fuentes orgánicas de nitrógeno.

Variable	Testigo	Sulfato amonio	Vacuno	Caprino	Conejo	Gallinaza	Azolla
Materia seca (g maceta ⁻¹)	9.18	12.62	11.58	15.02	16.40	16.59	18.03
% N total	1.56	2.04	1.45	1.46	1.50	2.11	1.90
Rendimiento N (mg maceta ⁻¹)	153.00	257.00	168.00	219.00	247.00	351.00	343.00
% ¹⁵ N a. e.	0.00	0.311	0.182	0.198	0.199	0.175	0.186
% Nddf	0.00	38.29	22.44	24.33	24.43	21.53	22.85
% Ndds	100.00	61.71	36.17	39.21	39.37	34.70	36.83
% Nddfo	0.00	0.00	41.39	36.46	36.20	43.77	40.32
Valor "A" (mg N)	0.00	386.80	442.72	359.64	355.60	487.92	432.53
Equivalencia sulfato de amonio [†] :							
	1 ^{er} corte	1.00	8.50	5.30	4.00	1.49	1.90
	2 ^{do} corte	1.00	2.80	2.40	2.60	1.52	1.65
	3 ^{er} corte	1.00	1.36	1.67	1.69	1.23	1.42

% ¹⁵N a. e. = % ¹⁵N átomos en exceso; % Nddf = % nitrógeno derivado del fertilizante; % Ndds = % nitrógeno derivado del suelo; %Nddfo = % nitrógeno derivado de la fuente orgánica; [†] equivalencia x unidades N como estiércol = 1 unidad N como sulfato de amonio.

las plantas fue mayor en las etapas iniciales (Sommers, 1977). Asimismo, la absorción de N proveniente del suelo fue menor en los tratamientos donde se aplicaron fuentes orgánicas.

Los estudios sobre manejo de materia orgánica (MO) han demostrado que el deterioro en la fertilidad potencial de los suelos, cuando no se usan abonos orgánicos es mayor, en comparación con aquéllos donde la aplicación de MO es una práctica común. Además, estas fuentes nutrimentales son, en términos de energía, más baratas y ambientalmente más limpias, por lo que pueden usarse como complementarias a la aplicación de los fertilizantes químicos. La variación en disponibilidad y concentración de nutrimentos permiten utilizar a los estiércoles como fuentes nutrimentales para los cultivos, y pueden ser mezclados para sincronizar su disponibilidad con la época de mayor demanda de nutrimentos por el cultivo.

Lodos. El desarrollo urbano y la legislación sobre el tratamiento de aguas residuales han traído como consecuencia un gran incremento en la generación de lodos residuales, producto del tratamiento de las descargas de drenaje de origen doméstico e industrial. Por lo anterior, es necesario generar tecnologías para el uso de este tipo de materiales. Una alternativa es la aplicación como fertilizante, por su alto contenido de MO y nutrimentos, aunque debe de tomarse en cuenta que su aplicación en suelos agrícolas puede aumentar el riesgo a la salud, debido a que también son portadores de patógenos y metales pesados. Para determinar la disponibilidad de N derivado de lodos

irradiados y no irradiados en el cultivo de maíz empleando la técnica isotópica de ¹⁵N, se instaló un experimento con maíz "H-220" en un suelo Vertisol (CINVESTAV-IPN, Unidad Irapuato) con lodos residuales (53.2% de MO y 3.23% de N) de la planta tratadora de aguas "Empresa para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua" del estado de México. Una parte del volumen total de lodo muestreado se irradió con ⁶⁰Co a una dosis promedio de 10 kGy en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Los lodos, tanto irradiados como no irradiados, se aplicaron al suelo a varios porcentajes (50, 100, 150 y 200%) de la dosis de N regional recomendada (260 kg N ha⁻¹) para maíz. Después de la aplicación del lodo, en cada uno de los tratamientos se marcó una microparcela con una dosis de 20 kg N ha⁻¹ como sulfato de amonio marcado con 10% átomos ¹⁵N en exceso. Finalmente, en la etapa de madurez fisiológica (120 dds), se cosechó el maíz de la microparcela isotópica y se dividió en submuestras de paja y grano para la determinación de la relación isotópica ¹⁴N/¹⁵N por espectrometría de emisión.

Los datos indican que existió una clara respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de N (Cuadro 5). Esta respuesta fue, en algunos casos, hasta de un incremento en 100% cuando el N se aplicó como lodo o como sulfato de amonio. Asimismo, la respuesta a la aplicación de los lodos fue similar, tanto en los irradiados como en los no irradiados. Fue interesante observar que la aplicación de N como lodo fue más eficiente que el fertilizante comercial; esto puede estar relacionado a la lenta liberación de N del material

Cuadro 5. Efecto de la aplicación de lodo en el rendimiento y la asimilación de N por el cultivo de maíz, sembrado en un suelo Vertisol pélico en Irapuato, Gto., México.

Tratamiento	Rendimiento grano	N-lodo recuperado en grano
kg N ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹
Lodo irradiado:		
130 lodo	4.8	63.4
260	5.9	97.5
390	5.4	80.8
520	6.0	120.9
260 [†]	4.8	72.9
260 S. amonio	4.3	35.5
20 S. amonio	2.1	-
Lodo no irradiado:		
130 lodo	5.0	58.5
260	5.7	86.1
390	5.7	79.3
520	5.3	99.9
260 [†]	4.6	63.9
260 S. amonio	4.4	35.3
20 S. amonio	2.1	-

[†] Lodo aplicado en forma superficial.

orgánico, así como a la presencia de otros macro y micronutrientes y factores biológicos (Sommers, 1977).

De una manera general, los resultados pueden resumirse de la siguiente manera: el rendimiento de maíz obtenido con el fertilizante comercial puede alcanzarse con la aplicación como lodo de 50% de la dosis de N recomendada para el maíz en la región.

CONSIDERACIONES GENERALES

La información presentada en este documento permitió la generación de recomendaciones para la producción de los diferentes cultivos en estudio. Su extensión a la gran mayoría de los agricultores redundará en un ahorro económico sustancial de los principales insumos que limitan la producción de los cultivos y, por otro lado, en una disminución del riesgo ambiental por el pobre manejo del agua y fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, es importante mencionar que la investigación sobre estos temas deberá complementarse con el uso de tecnologías de materia orgánica que permitan un manejo óptimo de los sistemas de producción en términos de sostenibilidad.

LITERATURA CITADA

- Bowen, G.D. y F. Zapata. 1990. Efficiency in uptake and use of nitrogen by plants. pp. 348-362. *In*: IAEA (ed.). International symposium on the use of stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies. IAEA-FAO-ONU. Viena, Austria.
- Etchevers-Barra, J.D. 1996. Conferencia Inaugural "La Agricultura del Siglo XXI", Curso Regional de Capacitación FAO/OIEA "El Uso de las Técnicas Nucleares en los Estudios de las Relaciones Suelo-Planta", 2-27 de septiembre de 1996. CINVESTAV-IPN, Unidad Irapuato. Irapuato, Gto., México.
- FERTINAL. 1994. Información general sobre la producción de fertilizantes NPK. México, DF.
- Grageda-Cabrera, O.A., F. Esparza-García y J.J. Peña-Cabriaes. 2000a. Environmental impact of nitrogen fertilizers in the "Bajío" region of Guanajuato State, Mexico. pp. 45-54. *In*: G. Sánchez and E. Olguín (eds.). Environmental biotechnology and cleaner bioprocesses. Taylor & Francis. London, UK.
- Grageda-Cabrera, O.A., F. Esparza-García, F. Zapata y J.J. Peña-Cabriaes. 2000b. Influence of sorghum crop residue management on the recovery of ¹⁵N labelled fertilizer by wheat in Mexico. *J. Sustainable Agric.* 16(3): 75-91.
- Hart, P.B.S., J.H. Rayner y D.S. Jenkinson. 1986. Influence of pool substitution on the interpretation of fertilizer experiment with N-15. *J. Soil Sci.* 37: 389-403.
- Hughes, R.G. 1979. Arable farmer's problems with straw. pp. 35-40. *In*: E. Grossbard (ed.). Straw decay and its effect of disposal and utilization. John Wiley. New York.
- Mary, B., S. Recous, D. Darwis y D. Robin. 1996. Interaction between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant Soil* 181:71-82.
- Peña-Cabriaes, J.J. y O.A. Grageda-Cabrera. 1997. Dinámica del nitrógeno en el ecosistema agrícola. p. 371. *In*: J. Ruiz-Herrera, D. Guzmán de Peña y J.J. Peña-Cabriaes (eds.). Perspectivas de la microbiología en México. Instituto Politécnico Nacional. México, DF.
- Reyes-Castañeda, P. 1981. Historia de la agricultura. Información y síntesis. AGT. México, DF.
- SARH-Subsecretaría de Planeación-Dirección General de Estudios, Informática y Estadística Sectorial. 1991. El uso de fertilizantes. Distritos de Riego. Informe estadístico 137. México, DF.
- Sommers, L.E. 1977. Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizers. *J. Environ. Quality* 6: 225-231.
- Vázquez-Navarro, G., J.M. de la Fuente-Martínez y J.J. Peña-Cabriaes. 1994. Eficiencia y pérdidas vía desnitrificación de fertilizantes nitrogenados aplicados a sorgo en un suelo vertisol. *Terra* 12: 345-353.
- Zapata, F. 1990. Técnicas isotópicas en estudios sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. pp. 79-100. *In*: G. Hardarson (ed.). El empleo de las técnicas nucleares en estudios de la relación suelo-planta. FAO-OIEA. Viena, Austria.