

Aporte de nitrógeno proveniente de pollinaza al cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.)

Contribution of nitrogen from chicken manure to broccoli crop (*Brassica oleracea* L.)

Daniel Torres Nava ¹, Engelberto Sandoval Castro ², Juan José Peña-Cabriales ^{3*}, José Antonio Vera-Núñez ³

Originales: *Recepción*: 27/05/2016 - *Aceptación*: 30/11/2016

RESUMEN

Se evaluó a través de la técnica isotópica de ¹⁵N el aporte de nitrógeno (N) proveniente de la pollinaza durante el desarrollo del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.). Se establecieron seis tratamientos a una dosis de 300 kg N ha⁻¹ producto de la combinación de fertilizante químico (N-fosfonitrato) y fertilizante orgánico (N-pollinaza): 1) 0 + 300; 2) 100 + 200; 3) 150 + 150; 4) 200 + 100; 5) 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 0 kg N-pollinaza ha⁻¹; y 6) testigo sin fertilización N, en un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones. Los resultados mostraron el mayor rendimiento en los tratamientos 200 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 100 kg N-pollinaza ha⁻¹ y 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ (16 y 17 Mg ha⁻¹, respectivamente). El mayor rendimiento de N total (347 kg N ha⁻¹) ocurrió a 150 kg N-pollinaza. Los datos de ¹⁵N indican una baja asimilación de N-fertilizante, destacando los tratamientos donde se aplicó pollinaza con los valores menores (3,2-4,1%) en comparación con el tratamiento a base de N-fosfonitrato (28,7-48,0%). La absorción de N-pollinaza fue aproximadamente 29,5%. Los datos sugieren un efecto sinérgico entre el fertilizante químico y orgánico, ya que se observó una alta contribución del N del suelo dadas las constantes aplicaciones de pollinaza al sistema de producción en Tepeaca, Puebla.

Palabras clave

Absorción de ¹⁵N • fertilizante orgánico • sinergismo

-
- 1 Programa Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. dtorres.nava@gmail.com
 - 2 Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. engel@colpos.mx
 - 3 Depto. de Biotecnología y Bioquímica del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav)-IPN, Unidad Irapuato. km 9.6 Lib. Norte, Carretera Irapuato-León. 36821 Irapuato, Guanajuato, México.

ABSTRACT

The nitrogen (N) contribution from chicken manure to broccoli crop (*Brassica oleracea* L.) was evaluate using the ^{15}N isotopic technique. Six treatments combining chemical fertilizer (N-phosphonitrate) and organic fertilizer (N-chicken manure) at a total rate of 300 kg N ha^{-1} were established: 1) $0 + 300$; 2) $100 + 200$; 3) $150 + 150$; 4) $200 + 100$; 5) $300 \text{ kg N-phosphonitrate ha}^{-1} + 0 \text{ kg N-chicken manure ha}^{-1}$; and 6) an unfertilized N control. Five replicates per treatment were established under a statistical design of random blocks. The highest yield of broccoli (heads) corresponded to treatments $200 \text{ kg N-phosphonitrate ha}^{-1} + 100 \text{ kg N-chicken manure ha}^{-1}$ and $300 \text{ kg N-phosphonitrate ha}^{-1}$ yielding 16 and 17 Mg ha^{-1} , respectively. The highest value of total N-uptake (347 kg N ha^{-1}) was observed in treatment corresponding to $150 \text{ kg N-phosphonitrate ha}^{-1} + 150 \text{ kg N-chicken manure ha}^{-1}$. The ^{15}N data indicate low values of N-fertilizer uptake (3.2-4.1%) when manure was applied. The N-phosphonitrate alone treatment showed a higher value of N-fertilizer (28.7-48.0%) than treatment $200 \text{ kg N-phosphonitrate ha}^{-1} + 100 \text{ kg N-chicken manure ha}^{-1}$ (4.5-5.1%). The N uptake by plants from manure was 29.5% average. The combination of chemical and organic fertilizers resulted in a higher total N-uptake. The constant application of manure to soil under broccoli production in Puebla region resulted in a significant contribution of soil N to the broccoli crop.

Keywords

^{15}N -uptake • organic fertilizer • synergetic

INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados (N) sintéticos y el manejo intensivo del suelo, incluyendo la labranza ha conducido a un deterioro de la reserva nutrimental del suelo y a un alto impacto ambiental por la emisión de gases relacionados con el efecto invernadero y la posible contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos (25). Sin embargo, la combinación de enmiendas orgánicas con fertilizantes químicos representa una alternativa para desarrollar estrategias de fertilización sostenibles (11, 20).

El uso de fertilizantes químicos y orgánicos genera una serie de mejorías a los suelos, además pueden incrementar el rendimiento de cultivos. En este contexto, es esencial estudiar el comportamiento

del N en fertilizantes órgano-minerales para estimar la cantidad y la velocidad de liberación del N proveniente de la fracción orgánica (14).

En el Estado de Puebla se cultivan aproximadamente $1,350 \text{ ha}$ de brócoli, destacando la región de Tepeaca-Tecamachalco como el núcleo más importante de producción hortícola del Estado y con el mayor número de municipios dedicados al cultivo, con un rendimiento comercial que oscila en $9-12 \text{ Mg ha}^{-1}$ (32). En esta región se comercializan embarques hacia los mercados de los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y Cuba.

En la región existen varias granjas avícolas, las excretas (pollinaza) generadas

en dicha actividad se destinan, principalmente, para la aplicación en cultivos hortícolas como el brócoli.

Sin embargo, este insumo se aplica de forma empírica y en grandes cantidades junto con fertilizantes químicos, por lo que es necesario evaluar el comportamiento del N proveniente de la pollinaza en el sistema de producción de brócoli para optimizar el uso de este insumo.

El principal problema de la integración de abonos orgánicos con fertilizantes químicos, es establecer una adecuada sincronización entre la cantidad y la disponibilidad de N en ambos fertilizantes y la absorción de N por el cultivo (17).

Al igual que otros nutrimentos como el P (28), N de los fertilizantes orgánicos debe ser mineralizado para estar disponible para las plantas, este proceso microbiano, generalmente, no coincide en tiempo con las etapas de mayor requerimiento por el cultivo (29). Esta información es fundamental pues permitiría definir correctamente la cantidad y etapa de aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos de acuerdo con las necesidades de N por el cultivo. Por lo anterior, es necesario realizar estudios enfocados a optimizar el uso de estiércoles para derivar el beneficio máximo de esta práctica de fertilización orgánica (11).

Objetivo

Evaluar el aporte de N proveniente de la aplicación de pollinaza durante el ciclo de desarrollo del cultivo de brócoli a través de la técnica isotópica de ^{15}N .

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio y suelo experimental

El experimento se realizó en la localidad de Santa María Oxtotipan perteneciente

al municipio de Tepeaca, Puebla, México, ubicado a 18°56' Norte y 97°51' Oeste, y una altitud de 2226 m s. n. m. El suelo experimental pertenece al tipo Cambisol (15).

La caracterización físico-química del suelo (estrato 0-20 cm profundidad) realizada en el Laboratorio de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos de acuerdo con la norma NOM-021-SEMARNAT-2000, indica: textura arcillosa, densidad aparente de 1,13 g cm⁻³ pH 4,9, conductividad eléctrica 3,35 dS m⁻¹, materia orgánica 3,35%, nitrógeno total 0,07%, fósforo Bray 45,86 mg kg⁻¹, potasio 0,77 meq 100 g⁻¹, N-NH₄⁺ 41 mg kg⁻¹, N-NO₃⁻ 199 mg kg⁻¹, Na 0,55 meq 100 g⁻¹ y capacidad de intercambio catiónico de 18,93 meq 100 g⁻¹.

Tratamientos experimentales

Se utilizó como fertilizante orgánico excretas de pollo (N-pollinaza) tanto de engorda (carne) como de postura (huevo), obtenido de una granja avícola del municipio de Tecamachalco, Puebla, México.

La N-pollinaza fue parcialmente establecida durante una semana y caracterizada nutrimentalmente en el Laboratorio de Microbiología Ambiental del Cinvestav-IPN, Unidad Irapuato: 4,25% N total; 0,22% P total; 3,8% K total, pH de 6,9; relación C/N de 6,20% de humedad y una conductividad eléctrica de 4,37 dS m⁻¹.

En una parcela experimental de cuatro surcos de 1 m de ancho por 5 m de largo, el 30 de septiembre de 2009, se trasplantó el brócoli cultivar "Heritage" (Seminis^{MR}) a una distancia entre plantas de 0,4 m equivalente a una densidad de 31 x 10³ plantas ha⁻¹ en un arreglo de "tres bolillo".

Derivado del contenido de N-total, humedad de la pollinaza utilizada, y con base a la dosis de fertilización 300-100-100 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente,

se establecieron seis tratamientos producto de la combinación de fertilizante químico: N-fosfonitrato (47,5-47,5-3,0%) y fertilizante orgánico: N-pollinaza (4,25-0,22-3,80%) N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente: 1) 0 + 300; 2) 100 + 200; 3) 150 + 150; *4) 200 + 100; *5) 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 0 kg N-pollinaza ha⁻¹ (*tratamiento marcado con K¹⁵NO₃); y 6) un testigo sin fertilización N. El ensayo se instaló en un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones.

El total del fertilizante N-pollinaza se aplicó a la siembra, mientras que el N-fosfonitrato se fraccionó: 1) 50% al trasplante y 2) 50% a los 15 días después del trasplante (ddt).

Previo al trasplante, se ajustaron y aplicaron los requerimientos de P₂O₅ y K₂O con superfosfato de calcio triple y sulfato de potasio, respectivamente. La cosecha (florete) se realizó el 15 de diciembre de 2009 (85 ddt). El manejo del cultivo se realizó de acuerdo con las prácticas del agricultor cooperante.

Marcaje y muestreo isotópico de ¹⁵N

Para estimar el contenido y origen del N del fertilizante (Nf), del suelo (Ns) y de la pollinaza (Np) durante el ciclo de desarrollo de la planta de brócoli, se utilizó la técnica de dilución isotópica de ¹⁵N (35), para lo cual se marcó el suelo en dos microparcels isotópicas de 2 m² ubicadas en los dos surcos centrales de la unidad experimental.

Al trasplante y a los 15 ddt en los tratamientos: *4) 200 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 100 kg N-pollinaza ha⁻¹; y *5) 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 0 kg N-pollinaza ha⁻¹ se aplicó K¹⁵NO₃ en solución con un enriquecimiento de 10,03% de ¹⁵N átomos en exceso (a.e.), equivalente al 10% de la dosis de 300 kg ha⁻¹ aplicada en los tratamientos sin marcar.

A los 30 (etapa vegetativa), 60 (etapa de inicio de botoneo) y 85 (florete) ddt (26)

en ambos tratamientos, se muestrearon dos plantas de brócoli por etapa fisiológica de la microparcels isotópica de ¹⁵N a 5 cm del nivel del suelo, para cuantificar la producción de masa fresca y seca de hoja+tallo y florete (a la cosecha se muestrearon 12 plantas completas para estimar el rendimiento de florete).

Las muestras se secaron en horno por 72 h, posteriormente se molieron (malla 0,5 mm) para estimar el N total por el método Kjeldahl y la relación isotópica de ¹⁵N/¹⁴N por espectrometría de emisión óptica (4) en el Laboratorio de Microbiología Ambiental del Cinvestav-IPN, Unidad Irapuato.

Cálculos isotópicos de ¹⁵N

Sobre la base de los parámetros de biomasa seca (RMS, kg ha⁻¹), N total (Nt, %) y la relación isotópica ¹⁵N/¹⁴N (¹⁵N a.e., %) en las etapas muestreadas, se calcularon las variables de rendimiento de N total (RNt), N del fertilizante (Nddf), N del suelo (Ndds) y N de la pollinaza (Nddp) de acuerdo con Zapata (1990).

Rendimiento de N total (RNt)

El rendimiento de Nt (RNt, kg N ha⁻¹) se obtuvo multiplicando el rendimiento de masa seca (RMS, kg ha⁻¹) en cada etapa de interés por el porcentaje de N total (Nt, %), mediante la ecuación siguiente:

$$RNt (\text{kg N ha}^{-1}) = RMS (\text{kg ha}^{-1}) \times [Nt (\%) / 100]$$

N derivado del fertilizante (Nddf)

Tratamiento 4 con pollinaza (+p)

La fracción de N en la planta derivado del fertilizante (Nddf, %) en el tratamiento 4 se determinó con base a los átomos en exceso de ¹⁵N en la planta del tratamiento con pollinaza (¹⁵N_{+p} a.e., %) entre los átomos en exceso de ¹⁵N del fertilizante aplicado (¹⁵Nf a.e., equivalente a 10,03%).

Tratamiento 5 sin pollinaza (-p)

La fracción de N en la planta derivado del fertilizante (Nddf, %) en el tratamiento 5 se determinó con base a los átomos en exceso de ^{15}N en la planta del tratamiento sin pollinaza ($^{15}\text{N}_{-p}$ a.e., %) entre los átomos en exceso de ^{15}N del fertilizante aplicado ($^{15}\text{N}_f$ a.e., equivalente a 10,03%).

Para ambos tratamientos, se utilizó la ecuación siguiente:

$$\text{Nddf (\%)} = \left[\frac{^{15}\text{N}_{+p} \text{ a.e. } \text{ ó } ^{15}\text{N}_{-p} \text{ a.e. (\%)}}{^{15}\text{N}_f \text{ a.e. (10.03\%)}} \right] \times 100$$

N derivado del suelo (Ndds)

Asumiendo el principio de disponibilidad, el N derivado del suelo (Ndds, %) por la planta se calculó por diferencia en el tratamiento 5 (sin pollinaza) mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Ndds (\%)} = 100 - \text{Nddf (\%)}$$

N derivado de la pollinaza (Nddp)

La fracción de N en la planta derivado de la pollinaza (Nddp, %) en el tratamiento 4(+p) se determinó con base a la proporción de ^{15}N del fertilizante del tratamiento con pollinaza (Nddf_{+p} , %) entre la proporción de ^{15}N del fertilizante del tratamiento sin pollinaza (Nddf_{-p} , %) mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Nddp (\%)} = \left[1 - \left(\frac{\text{Nddf}_{+p}}{\text{Nddf}_{-p}} \right) \right] \times 100$$

Rendimiento de N derivado del fertilizante (RNf)

La cantidad de N derivado del fertilizante por la planta (RNf, kg N ha^{-1}) fue calculado multiplicando el rendimiento de N total (RNt, kg N ha^{-1}) por el N derivado del fertilizante (Nddf, %) mediante la ecuación siguiente:

$$\text{RNf (kg N ha}^{-1}\text{)} = \text{RNt (kg N ha}^{-1}\text{)} \times \left[\frac{\text{Nddf (\%)}}{100} \right]$$

Rendimiento de N derivado de la pollinaza (RNp)

La cantidad de N derivado de la pollinaza por la planta (RNp, kg N ha^{-1}) fue calculado multiplicando el rendimiento de N total (RNt, kg N ha^{-1}) por el N derivado de la pollinaza (Nddp, %) mediante la ecuación siguiente:

$$\text{RNp (kg N ha}^{-1}\text{)} = \text{RNt (kg N ha}^{-1}\text{)} \times \left[\frac{\text{Nddp (\%)}}{100} \right]$$

Eficiencia de absorción del N fertilizante (ERNf)

La eficiencia de absorción del N fertilizante (ERNf, %) se cuantificó en base a la absorción del N derivado del fertilizante (RNf, kg N ha^{-1}) por la planta entre la dosis de N (Dosis N, kg N ha^{-1}) que se aplicó al suelo mediante la ecuación siguiente:

$$\text{ERNf (\%)} = \left[\frac{\text{RNf (kg N ha}^{-1}\text{)}}{\text{Dosis N (kg N ha}^{-1}\text{)}} \right] \times 100$$

Análisis estadístico

Los valores obtenidos de las variables tanto fisiológicas, nutrimentales, así como las isotópicas, fueron analizadas por procedimientos estándar de análisis de varianza. Se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) para la separación de medias utilizando el paquete estadístico SAS (27).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de biomasa

Los resultados de producción de biomasa por la planta (hojas+tallo y florete) se muestran en la tabla 1 (pág. 110). Similar a lo observado en el rendimiento comercial de florete, la producción de biomasa de brócoli presentó una respuesta significativa a la fertilización órgano-mineral.

Tabla 1. Efecto de la fertilización órgano-mineral en la producción de biomasa por el cultivo de brócoli**Table.** Effect of organic-mineral fertilization on biomass production by broccoli crop.

Tratamiento		Florete		Hoja		Tallo	
Fosfonitrato	Pollinaza	Fresco	Seco	Fresco	Seco	Fresco	Seco
(kg N ha ⁻¹)		------(g planta ⁻¹)-----					
0 + 300		374 cd	49 b	927 a	148 b	251 a	26 a
100 + 200		496 bc	49 b	742 ab	164 ab	263 ab	21 b
150 + 150		476 b	60 a	962 ab	162 ab	278 a	33 ab
200 + 100		501 ab	62 a	1039 ab	174 a	292 a	35 a
300 + 0		561 a	62 a	1083 a	172 a	352 a	37 a
Control		335 d	48 b	564 b	155 ab	224 b	20 b
Coeficiente Variación		8,14	6,61	9,60	6,46	9,00	11,80

Medias en columna seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0,05).

Column averages followed by the same letter are statistically equal (Tukey, 0.05).

La producción mayor de biomasa se observó en los tratamientos 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ y 200 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 100 kg N-pollinaza ha⁻¹ (tabla 1).

La masa seca de florete fue mayor a lo reportado por Rincón *et al.* (1999) quienes en brócoli con fertirrigación obtuvieron valores de 254 g planta⁻¹. Durante el ciclo de cultivo de brócoli, independientemente de los tratamientos, la materia seca presentó un crecimiento de tipo exponencial, similar a lo reportado por Magnifico *et al.* (1979).

Comparativamente, la producción de biomasa fue mayor a lo reportado por Rincón *et al.* (1999), quienes obtuvieron 6,2 Mg ha⁻¹. Esto concuerda con Seth *et al.* (2008), quienes reportaron que al incorporar estiércol carbonizado de pollo aumentó la producción de materia seca en soya.

La diferencia entre estos resultados, pudo deberse a las condiciones de crecimiento, así como a las condiciones ambientales directamente relacionadas con la producción de biomasa.

La mayor producción de materia seca se debió a una mayor contribución, principalmente de las hojas, seguido por floretes y tallos, lo cual se asemeja a lo reportado por Carranza *et al.* (2008), quienes mencionan que debido a que solo una pequeña porción de la planta de brócoli es cosechada (florete), el resto puede incorporarse al suelo.

Rendimiento de florete

El rendimiento de florete fresco para los diferentes tratamientos de fertilización órgano-mineral se muestra en la figura 1 (pág. 111). Esta variable presentó una respuesta significativa a la fertilización órgano-mineral.

El mayor rendimiento se obtuvo con los tratamientos 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ (T5) y 200 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ + 100 kg N-pollinaza ha⁻¹ (T4) con 17 y 16 Mg ha⁻¹, respectivamente. Éstos resultados son mayores a los reportados para el cultivo de brócoli en fresco (3, 26), y concuerdan con lo reportado por Seth *et al.* (2008), en otros cultivos.

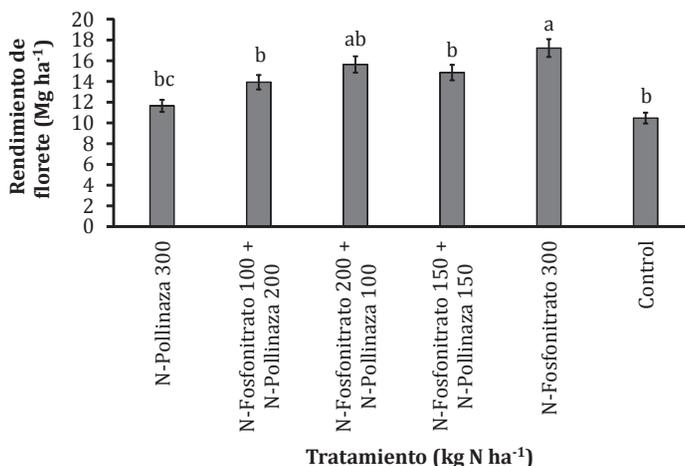


Figura 1. Rendimiento de florete por el cultivo de brócoli fertilizado con enmiendas órgano-minerales

Figure 1. Yield of broccoli heads in a crop fertilized with organic-mineral amendments.

Encontraron que la aplicación de pollinaza mineralizada aumentó la producción de semilla hasta en 43%; la aplicación de fertilizante N en combinación con estiércol contribuye al aumento del N del suelo y por lo tanto a una mayor disponibilidad y absorción de N por la planta. En el mismo sentido, Ahmad *et al.* (2007), reportan que la fertilización órgano-mineral aumenta significativamente la altura de las plantas.

Los resultados de rendimiento de florete fue menor cuando se aplicaron 300 kg N-pollinaza ha⁻¹ (12 Mg florete ha⁻¹) en comparación con el tratamiento a base de 300 kg N-fosfonitrato ha⁻¹ (17 Mg florete ha⁻¹), lo cual concuerda con lo reportado por Abou *et al.* (2006), quienes reportaron que al incorporar abono orgánico como gallinaza obtuvieron un rendimiento de 10,9 Mg brócoli ha⁻¹.

Las interacciones entre los fertilizantes N-fosfonitrato y N-pollinaza generaron variación en la producción de florete, dicha variación se atribuye

a una falta de sincronización entre la mineralización-inmovilización de N. Además, la aplicación de estiércol promueve una mayor actividad y competencia microbiana del suelo por el nutrimento (1, 10), lo cual genera una liberación lenta del N-orgánico (30).

El alto rendimiento de florete obtenido en el tratamiento control (10,5 Mg florete ha⁻¹) se debe a que el suelo experimental ha recibido altas y frecuentes aportes de pollinaza, lo que crea una reserva natural de N mineral en el suelo (30) y por lo tanto, la planta se encuentra en mejores condiciones nutrimentales para producir un rendimiento comercial alto. En este sentido, Langmeier *et al.* (2002), encontraron que un suelo con aportes constantes de materia orgánica puede sostener la demanda nutrimental de N del cultivo de rye grass (*Lolium multiflorum*).

La aplicación de fertilizantes órgano-minerales incrementa el rendimiento, debido a un enriquecimiento del suelo por aplicaciones continuas de materia orgánica,

generando una mejoría en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, coadyuvando a aumentar el rendimiento, después de varias aplicaciones consecutivas de estiércol (22).

Absorción de N

Los resultados de absorción de N total se muestran en la tabla 2. La absorción de N por el cultivo de brócoli fue afectada por la fertilización órgano-mineral. Se observaron valores de N total mayores a los reportados por Karitonas (2001).

El N total en el tratamiento control indica un alto contenido de N en el suelo (Ns) por las aplicaciones frecuentes de pollinaza en el sitio experimental. En general, se observó que la absorción de N total fue mayor cuando la aplicación de N vía pollinaza disminuyó. Estos resultados son similares a los obtenidos por Castellanos *et al.* (2001), quienes al incorporar 400 kg N-orgánico ha⁻¹ bajo un manejo de fertirrigación, obtuvieron niveles

de extracción de 341 kg N ha⁻¹. Asimismo, los resultados son similares a lo reportado por Xue *et al.* (2005), quienes encontraron que la aplicación de urea tuvo un efecto positivo en la mineralización del Ns.

Al respecto, Jenkinson *et al.* (1985), demostraron el denominado "priming effect" (efecto emprimador) en suelos con aplicaciones altas y constantes de materia orgánica, lo cual reduce la absorción de N aplicado al suelo recientemente, ya que la adición de fertilizante estimula la actividad microbiana y favorece la disponibilidad del Ns, aunque el "priming effect" puede ser positivo o negativo (13).

En este trabajo, residuos de cultivo equivalente a 5.9 Mg materia seca ha⁻¹ (tabla 2) pueden incorporarse al suelo, lo cual ayudaría a que el N proveniente de los mismos esté disponible para la planta por un largo período a través de una inmovilización inicial del elemento seguido por una mineralización (6).

Tabla 2. Absorción de N total por el cultivo de brócoli fertilizado con enmiendas órgano-minerales.

Table 2. Absorption of total N by broccoli crop fertilized with organic-mineral amendments.

Tratamiento		Nitrógeno					
Fosfonitrato	Pollinaza	Total	Incremento	Florete	Hoja (h)	Tallo (t)	Residuo (h + t)
(kg N ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	(%)	-----(-)-----			(t ha ⁻¹)
0 + 300		177	-41,0	22,5 b	68,0 b	9,5 c	5,3 c
100 + 200		272	-8,6	20,9 c	69,0 a	9,7 c	5,8 b
150 + 150		347	15,5	23,2 a	66,5 c	10,3 b	5,8 b
200 + 100		277	-7,8	22,2 b	67,0 b	10,6 b	6,3 a
300 + 0		356	18,4	22,4 b	65,6 c	12,0 a	6,3 a
Control*		301		21,8 c	69,7 a	8,5 d	5,4 c
Coeficiente Variación				7,05	10,70	12,36	8,50

Medias en columna seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0,05).

* Valor de N-suelo (Ns) considerado como 100%.

Column averages followed by the same letter are statistically equal (Tukey, 0.05).

N-soil value (Ns) considered as 100%.

Origen del N

Considerando que el N total del tratamiento control es derivado del suelo (tabla 3), el cual ha recibido aplicaciones constantes de pollinaza, en este trabajo se aplicaron 300 kg N-pollinaza ha⁻¹.

Los resultados obtenidos indican que la absorción N total aumentó con la aplicación de N-fertilizante (Nf), mientras que cuando se incorporó materia orgánica vía N-pollinaza (Np), esta variable disminuyó. Esto es explicado en función de la incorporación de materia orgánica, la cual favorece el incremento de la inmovilización del N, asimismo, se incrementa el N-suelo (Ns) y la competencia entre los microorganismos y las plantas por el elemento.

En el caso de la incorporación de Nf, este reemplaza el Ns y por lo tanto incrementa la disponibilidad de N para la planta. Esta observación es apoyada por Del Pino *et al.* (2007), quienes demostraron a nivel de laboratorio, a través de las tasas de mineralización de N de estiércoles, que los fertilizantes minerales promueven una mayor concentración de N mineral en el suelo (principalmente NO₃⁻).

Considerando que la aplicación de estiércol animal, no solo aumenta la reserva de N-inorgánico sino también incrementa la mineralización del Ns se genera una mayor disponibilidad de N mineral para las plantas, coadyuvando a la descomposición lenta de la materia orgánica proveniente del estiércol (23).

Los resultados de la absorción y origen de N se presentan en la tabla 3. La absorción de N fertilizante (Nf) en la etapa vegetativa fue baja, destacando los tratamientos donde se aplicó pollinaza (Np) con los valores de Nf menores en comparación con el tratamiento a base de N-fosfonitrato.

La baja contribución del Np fue debido en primer lugar a la alta disponibilidad de N en el suelo antes de la siembra y a la baja cantidad de N aplicado como pollinaza (tabla 3).

Al respecto, Azeez y Van Averbeke (2010), mencionan que esto se debe a que el Nf es inmovilizado por los microorganismos. Asimismo, se ha observado que la aplicación de Np aumenta la actividad microbiana y la competencia por el nutrimento y por lo tanto, la inmovilización del N.

Tabla 3. Origen del N en el cultivo brócoli fertilizado con enmiendas órgano-minerales.

Table 3. Origin of N in a broccoli crop fertilized with organic-mineral amendments.

Tratamiento		Origen	Etapa (ddt)		
Fosfonitrato	Pollinaza		Vegetativo, 30	Botoneo, 60	Cosecha, 85
(kg N ha ⁻¹)		-----N (%)-----			
200 + 100		Ns	68,9	65,2	94,6
		Nf	4,5	3,2	5,1
		Np	26,6	31,6	0,4
300 + 0		Ns	71,3	67,9	52,0
		Nf	28,7	32,1	48,0
		Np	0	0	0

La absorción de Np por la planta de brócoli fue aproximadamente 30% (tabla 3, pág. 113), este valor concuerda con lo reportado por Cabrera *et al.* (1993), quienes encontraron un aumento mayor de N mineral en los primeros días de incubación de estiércol de pollo, lo cual ha sido atribuido a la mineralización de compuestos orgánicos lábiles. También se ha demostrado que el estiércol se mineraliza durante el primer año de aplicación, esto permite incrementar la reserva de N del suelo (30), asimismo, debido a la forma del Np, principalmente como ácido úrico (12).

La proporción de Np en la planta de brócoli fue mayor en las dos primeras etapas (vegetativa a inicio de botoneo), esto concuerda con Azeez y Van Averbeke (2010), quienes plantean que la mineralización del Np se presenta en tres fases:

- 1) liberación inicial de N rápida (0-30 días de incubación, ddi),
- 2) liberación de N constante (40-55 ddi),
- 3) liberación de N baja (70-90 ddi).

Por otra parte, los datos indican que el manejo de abonos orgánicos de origen animal representan fuentes potenciales de lixiviación de N a los mantos freáticos, pudiendo ocasionar una grave contaminación por NO_3^- (3).

La baja absorción de Nf coincide con lo reportado por Thomsen (2004), quien menciona que la eficiencia del

uso de fertilizantes varía ampliamente y disminuye al aumentar la dosis de fertilización mineral.

Asimismo, los valores de absorción de Nf obtenidos son menores a lo reportado en brócoli por Castellanos *et al.* (2001), quienes reportaron valores de eficiencia de N entre 68 a 73% en fertirrigación.

CONCLUSIONES

Los resultados experimentales indican que la práctica de fertilización N del sistema de producción de brócoli en la región de Tepeaca-Tecamachalco, Puebla, México puede ser optimizada (agronómica y ambientalmente) a través de combinaciones idóneas entre fertilizantes sintéticos y orgánicos.

La aplicación de pollinaza estimula la inmovilización del N agregado como fertilizante sintético. Esta inmovilización está reflejada en un menor rendimiento de N del fertilizante por el cultivo. Sin embargo, combinaciones adecuadas de N químico más N orgánico pueden estimular la disponibilidad y absorción de N en el sistema. Es necesario realizar estudios enfocados a identificar y cuantificar el paradero (pérdida a la atmósfera y/o lixiviación) de N que ingresa al sistema de producción, así como el análisis económico de esta práctica de fertilización.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abou, M. M.; El-Magd, A. M.; El-Bassiony, F.; Fawzy, Z. F. 2006. Effect of organic manure with or without chemical fertilizers on growth, yield and quality of some varieties of broccoli. *Plant J. App. Sci. Res.* 2: 791-798.
2. Ahmad Azraf-ul-Haq, Imran Qadir, Naeem Mahmood. 2007. Effect of integrated use of organic and inorganic fertilizers on fodder yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Pakistan J. Agric. Sci.* 44(3): 144-145.
3. Arévalo, G. G.; Hernández, M. M. T.; Salcedo, P. E.; Galvis, S. A. 2007. Aplicación de fertilizantes sintéticos o abonos verdes y su efecto sobre la cantidad de nitrato residual en el suelo. *Rev. Chapingo-Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 2: 148-150.

4. Axmann, H.; Sebastianelli, A.; Arrillaga, J. L. 1990. Sample preparation techniques of biological material for isotope analysis. p. 41-53. In: Hardarson, G. (Ed.). Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationship. IAEA. Viena, Austria.
5. Azeez, J. O.; Van Averbeke, V. W. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Biores. Technol.* 101: 5645-5651.
6. Burgess, M. S.; Mehuys, G. R.; Madramootoo, C. A. 2002. Nitrogen dynamics of decomposing corn residue components under three tillage systems. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 66:1350-1358.
7. Cabrera, M. L.; Chiang, S. C.; Merka, W. C.; Thompson, S. A.; Pancorbo, O. C. 1993 Nitrogen transformations in surface applied poultry litter: Effect of litter physical characteristics. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57: 1519-1525.
8. Carranza, C.; Lancho, O.; Miranda, D.; Melba, R. S.; Chaves, B. 2008. Modelo simple de simulación de distribución de masa seca en brócoli (*Brassica sp.*) variedad Coronado y repollo (*Brassica oleracea*) híbrido Delus cultivados en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana.* 26(1): 23-31.
9. Castellanos, Z. J.; Villalobos, S.; Delgado, A.; Muñoz, J.; Sosa, A.; Vargas, P.; Lazcano, I.; Alvarez, S. E.; Enriquez, S. A. 2001. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in a broccoli-corn rotation of central México. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 32(7&8): 1265-1292.
10. Del Pino, A.; Repetto, C.; Mori, C.; Perdomo, C. 2007. Patrones de descomposición de estiércoles en el Suelo. *Terra Latinoamericana.* 26:43-52.
11. Fageria, N. K.; Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron.* 88: 97-185.
12. Fujiwara, T.; Murakami, K. 2007. Application of near infrared spectroscopy for estimating available nitrogen in poultry manure compost. *Soil Sc. Plant Nut.* 53: 102-107.
13. Hamer, U.; Marschner, B. 2002. Priming effects of sugars, amino acids, organic acids and catechol on the mineralization of lignin and peat. *J. Plant Nut. Soil Sc.* 165: 261-268.
14. Henrique, M. R.; Fangueiro, D.; Alves, F.; Ventura, R.; Coelho, D.; Vasconcelos, E.; Cunha, Q.; Countinho, C.; Cabral, F. 2010. Nitrogen mineralization from an organically managed soil and nitrogen accumulation in lettuce. *J. Plant Nut. Soil Sc.* 173:260-267.
15. INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Mapa Digital de México visualizador. <http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html> (Revisado: Enero, 2010).
16. Jenkinson, D. S.; Fox, R. H.; Rayner, J. H. 1985. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen-the so-called 'priming' effect. *Eur. J. Soil Sci.* 36: 425-444.
17. Johnston, A. E. 2007. Organic manures and mineral fertilizers. Chapter 2. *Developments in Plant and Soil Science.* 86: 7-11.
18. Karitonas, R. 2001. Effect of nitrogen supply on yield and quality of broccoli. *Plant Nut. Food Sec. Sust. Agro-ecosystems.* 92: 298-299.
19. Langmeier, M.; Oberson, A.; Kreuzer, M.; Mäder, P.; Dubois, D.; Frossard, E. 2002. Does the farming system affect the nitrogen fertiliser value of animal manure?. *Plant Nut. Food Sec. Sust. Agro-ecosystems.* 92: 968-969.
20. Liu, M.; Hu, F.; Chen, X.; Huang, Q.; Jiao, J.; Zhang, B.; Li H. 2009. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. *App. Soil Ecol.* 42: 166-175.
21. Magnifico, V.; Lattancio, V.; Sarli, G. 1979. Growth and nutrient removal by broccoli. *J. Amer. Hort. Sci.* 104(2): 201-203.
22. Mooleki, S. P.; Schoenau, J. J.; Charles, J. L.; Wen, G. 2004. Effect of rate, frequency and incorporation of feedlot cattle manure on soil nitrogen availability, crop performance and nitrogen use efficiency in east-central Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 84: 199-210.
23. Muñoz, G. R.; Powell, J. M.; Kelling, K. A. 2003. Nitrogen budget and soil N dynamics after multiple applications of unlabeled or ¹⁵Nitrogen-enriched dairy manure. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 67: 817-825.

24. NOM-021-SEMARNAT-2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma oficial que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, clasificación, estudio, muestreo y análisis de suelos.
25. Pikul, Jr., J. L.; Chilom, G.; Rice, J.; Eynard, A.; Schumacher, T.; Nichols, K. A.; Johnson, J. M.; Wright S. E.; Caesar, T.; Ellsbury, M. M. 2006. Soil aggregate stability and components of organic matter affected by tillage, Meeting Abstract for 2006 ASA-CSSA-SSSA Annual Meeting, Indianapolis, IN, November. 12-16.
26. Rincón, L.; Saez, J.; Pérez, C. A. J.; Gómez, L. M. D.; Pellicer, C. 1999. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. CIDA-Murcia, España. Investigación Agrícola: Producción y Protección Vegetal. 14(1-2): 45-59.
27. SAS INSTITUTE. 2003. SAS 9.1.3 Service Pack 2, Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
28. Saucedo Castillo, O.; de Mello Prado, R.; Castellanos González, L.; Ely, N.; Silva Campos, C. N.; Pereira Da Silva, G.; Assis, L. C. 2015. Efecto de la fertilización fosfatada con cachaza sobre la actividad microbiana del suelo y la absorción de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(1): 33-42.
29. Schnoener J. J.; Davis, J. G. 2006. Optimizing soil and plant responses to land applied manure nutrients in the great plains of North America. Can. J. Soil Sci. 86: 587-595.
30. Schröder, J. 2005. Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. Biores. Technol. 96: 253-261.
31. SIAP. 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351 (Revisado: Enero, 2009).
32. Seth, O. T.; Takatsugu, H.; Tsutomu, M. 2008. Effects of carbonized and dried chicken manures on the growth, yield, and N content of soybean. Plant Soil. 30(6): 211-220.
33. Thomsen, I. K. 2004. Nitrogen use efficiency of ¹⁵N-labeled poultry manure. Soil Sc. Amer. J. 68: 538-544.
34. Xue, J. M.; Sands, R.; Clinton, P. W.; Paync, T. W.; Skinner, M. F. 2005. Priming effect of biuret addition on native soil N mineralization under laboratory conditions. Soil Biol. Biochem. 37: 1959-1961.
35. Zapata, F. 1990. Técnicas isotópicas en estudios sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. p. 57-69 y 79-171. In: Hardarson, G. (Ed.). Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta. Dependencia de Edafología. Programa FAO/OIEA. Laboratorios del OIEA A-2444. Seibersdorf, Austria. OIEA. Viena, Austria.