

Absorción de macronutrientes en dos variedades de sésamo (*Sesamum indicum* L.)

Carlos Javier Villalba-Martínez^{1*}, Rosa María-Sosa, y Elmira Orea-Pfefferkorn

- La determinación de la absorción de los nutrientes de las plantas es una herramienta útil para realizar prácticas de fertilización más precisas.
- En Paraguay, el sésamo (o ajonjolí) es un cultivo principalmente del pequeño productor y los resultados obtenidos en esta investigación podrían contribuir para aumentar los rendimientos agrícolas de este cultivo.
- La absorción de nitrógeno, fósforo y potasio, en promedio, resultó de 54, 4 y 5.1 kg por tonelada de grano producido, respectivamente.

Introducción

El sésamo, o ajonjolí, es una planta perteneciente a la familia *Pedaliaceae* que presenta un ciclo siembra-madurez de entre 80 a 130 días. En los últimos años ha ganado popularidad por su alta demanda a nivel internacional por ser un alimento proteico, además de contribuir a disminuir el colesterol sanguíneo (Rodríguez et al., 2006; Oviedo de Cristaldo, 2007; Sharma et al., 2012). La siembra de este cultivo fue incrementándose en Paraguay a partir del año 2000 y durante este periodo se han desarrollado e introducido variedades con el fin de aumentar la productividad agrícola. El rendimiento del sésamo oscila entre los 300 a 700 kg ha⁻¹, siendo un rubro cultivado por el pequeño productor (Klassen, 2006).

Para que un cultivo agrícola pueda alcanzar el rendimiento máximo, de acuerdo a la condición del agroecosistema, los factores de crecimiento y desarrollo deben encontrarse en sus niveles óptimos (Etchevers, 2000), entre ellos uno de los principales problemas es la baja disponibilidad de los elementos esenciales, principalmente los macronutrientes por ser los requeridos en mayor cantidad por las plantas (Mengel y Kirkby, 1987), razón por la cual se realizan prácticas de fertilización inorgánica para llegar a cumplir con los requerimientos de los cultivos y así elevar los rendimientos por hectárea (Galvis et al., 1993).

Las recomendaciones para la fertilización de los cultivos agrícolas específicas para un predio se realizan hoy en día utilizando el conocimiento, la experiencia y las recomendaciones de dosis medias regionales, y en algunos casos con recomendaciones de análisis químicos de suelos, sin conocer el requerimiento interno nutrimental del cultivo en estudio (Rodríguez, 1993). Los bajos rendimientos en los cultivos se deben frecuentemente a que la mayoría de los agricultores no utilizan o utilizan dosis bajas de fertilizantes (Castellanos et al., 2001), sin considerar el requerimiento interno del cultivo en estudio.

Una de las formas de estimar la dosis y momento de fertilización es por medio de la absorción nutrimental de los cultivos (Bertsch, 2005). La aplicación efectiva de esta técnica permite obtener información sobre la acumulación de los nutrientes en la biomasa total como

se ha realizado en varios cultivos hortícolas como el brócoli, lechuga, y fresa entre otros (Castellanos et al., 2001; Aguilar, 2011; Sosa et al., 2012). La concentración de nutrientes de los cultivos agrícolas varía de acuerdo a la edad, órgano vegetal, orientación y prácticas de manejo (Young y Koo, 1969; Bertsch, 2005); sin embargo, la tendencia general es que la concentración de N, P, K disminuyan conforme aumenta la edad, contrario a lo que sucede con el Ca²⁺, cuya concentración aumenta a medida que es mayor la edad de la hoja (Chadha et al., 1980; Benítez-Pardo et al., 2003).

Este tipo de información sobre la absorción de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por el cultivo del sésamo, no se ha encontrado en el Paraguay, y podría ser de gran ayuda para los agricultores, contribuyendo a conocer la cantidad de fertilizante a aplicar para obtener altos rendimientos agrícolas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento de dos variedades de sésamo y su concentración de N, P, y K en granos y biomasa cultivada en un suelo Ultisol bajo distintos manejos de fertilización NPK.

Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en el Distrito de Dr. Juan Manuel Frutos, Departamento de Caaguazú, Paraguay, en la campaña 2016/2017, en un suelo caracterizado como Ultisol (López et al., 1995). La temperatura media anual es de 22 °C. Se realizó análisis de suelos, presentando un pH (H₂O) de 5.3, P Bray-1 13 ppm, materia orgánica 1.07%, y Ca 1.45 cmol/L, K 0.13 cmol/L, y Mg 0.13 cmol/L, intercambiables en acetato de amonio 1N pH 7. El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas en bloques completos al azar (DPDBCA), que estuvo compuesto por 2 variedades de sésamo y 3 dosis de N, P y K, con 4 repeticiones, totalizando 24 unidades experimentales. Los fertilizantes utilizados fueron urea, superfosfato triple y cloruro de potasio, la aplicación fue dividida en dos momentos: a la siembra y posteriormente en forma de cobertura al voleo a los 35 DDS. Las parcelas principales correspondieron a las variedades de sésamo, el IP10 y el K2, y las dosis de fertilización constituyeron las subparcelas. La descripción de los tratamientos puede observarse en la **Tabla 1**.

¹ Universidad Nacional de Caaguazú, Ruta N° 8, Blas A. Garay, Km 138. Coronel Oviedo, Paraguay

* Autor de contacto. Correo electrónico: villalba.javierdgi@gmail.com

Tabla 1. Tratamientos evaluados en el cultivo de sésamo, campaña 2016/2017.

Tratamientos	-----Variedades-----	
	IP10	K2
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg ha ⁻¹	
T1	30-15-20	30-15-20
T2	60-25-30	60-25-30
T3	80-30-40	80-30-40

Las variables evaluadas fueron: rendimiento de grano y biomasa aérea (tallos, hojas y vainas sin granos) en su madurez fisiológica como materia seca, concentración de N, P y K como porcentaje (%) en granos y biomasa. La absorción nutrimental fue calculada por la siguiente fórmula (Ec. 1) descrita por Rodríguez (1993):

$$\text{Absorción (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Concentración nutrimental (\%)} \times \text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)}}{100}$$

Ec. 1.

Los análisis químicos se realizaron en Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR) donde se cuantificó N por el método micro Kjeldahl (Bremner, 1965). Para la determinación de P y K la digestión se realizó vía húmeda con HNO₃-H₂O₂ 4:1 (Westerman et al., 1990) y la cuantificación de estos se realizó por absorción atómica en el caso del K y en el caso del P se determinó por colorimetría.

Las variables agronómicas y la concentración de nutrientes fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA) y clasificación de medias mediante el test de Duncan (P ≥ 0.05) utilizando el programa Statistical Analysis System software, versión 9.2 (SAS Institute Inc., 2007).

Resultados y discusión

En las condiciones en que se llevó a cabo la investigación, la interacción entre las variedades y los niveles de NPK no resultó estadísticamente significativa para ninguna de las variables estudiadas. Por tanto, los resultados a continuación son descritos y comparados en función de los factores principales (variedad y dosis NPK).

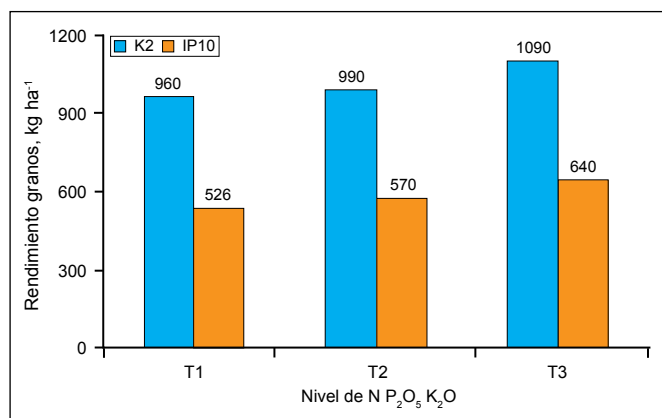


Figura 1. Efecto de la aplicación de N P K en el rendimiento de grano de dos variedades de sésamo.

Rendimiento

Para la variable rendimiento de granos, la aplicación de NPK no presentó diferencias estadísticas significativas para las variedades estudiadas. En la **Figura 1** se puede observar la tendencia de los resultados obtenidos.

Como se ilustra en la **Figura 1** existe un incremento gradual en el rendimiento de granos en las dos variedades con la aplicación de NPK, siendo la fertilización no significativa en esta investigación, pero al comparar el rendimiento de las dos variedades se observan diferencias estadísticas (P ≤ 0.05, **Tabla 2**).

Tabla 2. Rendimiento promedio de grano, para las dos variedades de sésamo.

Variedades	Rendimiento de grano kg ha ⁻¹
K2	1040a ¹
IP10	640b

¹ Los valores seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (p < 0.05) según la prueba de rango múltiple de Duncan.

Mazzani (1999), en una investigación de fertilización con 140 kg de N, 180 kg de P y 140 Kg de K en sésamo, obtuvo rendimientos promedios de 324 y 1079 kg ha⁻¹ en variedades de ciclo corto y largo, respectivamente. Nuestros resultados coinciden con los de este autor para la variedad K2 pero no para la variedad IP10.

Cristaldo y Paredes (2001) estudiaron, en un suelo franco arcilloso, dosis crecientes de fertilizantes en sésamo, obteniendo un rendimiento de 1663 kg ha⁻¹ con la aplicación de 72.5 kg de N, 48 kg de P₂O₅ y 27 kg de S, resultado que se encuentra por encima de los obtenidos en esta investigación.

Cabral (2008), al realizar la caracterización agronómica de cuatro variedades de sésamo sembradas en el Departamento Central, obtuvieron los siguientes rendimientos: variedad INIA 1875 kg ha⁻¹, Dorado 1433 kg ha⁻¹, Escoba 910 kg ha⁻¹ y Mbarete 518 kg ha⁻¹. Los resultados obtenidos en la variedad K2 en esta investigación son similares al Dorado y Escoba, en cambio el rendimiento obtenido por la IP10 es similar a Mbarete. Pineda (2009), evaluó el efecto de la aplicación de NPK en sésamo de la variedad ICTA R-198, tipo ramificado observándose diferencias significativas, obteniendo con 60 kg N, 30 kg P, 50 K kg ha⁻¹ al suelo, el mayor rendimiento con 851 kg ha⁻¹ datos que en promedio coinciden con los resultados de esta investigación.

Biomasa

La acumulación de biomasa de las dos variedades estudiadas no presentó diferencias estadísticas por efecto de la aplicación de fertilizantes; sin embargo, se encontraron diferencias significativas (P < 0.05) cuando se comparó la acumulación de biomasa de las variedades (**Figura 2, Tabla 3**).

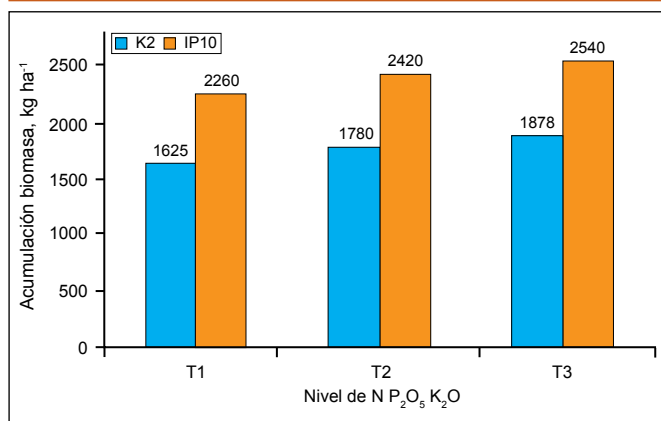


Figura 2. Efecto de la aplicación de NPK en la acumulación de biomasa.

Tabla 3. Rendimiento promedio de biomasa para las dos variedades de sésamo.

Variedades	Rendimiento de biomasa kg ha ⁻¹
K2	2406a ¹
IP10	1760b

¹ Los valores seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí ($p < 0.05$) según la prueba de rango múltiple de Duncan.

Como se ilustra en la **Figura 2** existe una tendencia de aumento con mayor dosis de fertilización en la acumulación de biomasa, siendo esta no significativa. La variedad K2 obtuvo mayor cantidad de biomasa (2406 kg ha⁻¹), en comparación a la variedad IP10 con 1760 kg ha⁻¹ (**Tabla 3**).

Concentración de NPK en granos y biomasa

Los resultados obtenidos sobre la concentración nutrimental para el cultivo del sésamo, tanto en el grano como en biomasa seca no registraron diferencias estadísticas entre las variedades o niveles de NPK, ni tampoco se observó efecto de interacción.

En la **Tabla 4**, se observa la concentración nutrimental en macronutrientes primarios, el N, presentó una acumulación máxima de 4.20% en granos y 1.58% en biomasa, P de 0.64% en granos y 0.33% en biomasa, y K 0.46% en granos y 1.83% en biomasa. Los valores de la **Tabla 4** corresponden al promedio de las tres dosis de fertilización.

Tabla 4. Concentración de macronutrientes en granos y biomasa.

Variedades de sésamo	----- Nitrógeno -----		----- Fósforo -----		----- Potasio -----	
	Granos	Biomasa	Granos	Biomasa	Granos	Biomasa
----- % -----						
IP10	4.19	1.50	0.62	0.34	0.42	1.60
K2	4.17	1.31	0.56	0.33	0.44	1.13
Promedio	4.18	1.40	0.59	0.33	0.43	1.35
Coefficiente de variación (%)	0.34	9.56	7.19	2.11	3.2	24.3

El sésamo variedad IP10 fue desarrollada con el objetivo de mejorar la cosecha por medio de maquinarias agrícolas, la característica principal de este cultivar radica en la producción de aceite en el grano, razón por la cual acumula importantes cantidades de N.

Las concentraciones de N encontradas en esta investigación para el sésamo son similares a los niveles reportados para los cultivos de soja y girasol (Ciampitti y García, 2007). La absorción del N es superior a los demás nutrientes, debido a que forma parte de la mayoría de las reacciones fisiológicas de la célula vegetal. Cuando se presentan deficiencias de N en las plantas el crecimiento se hace lento, mostrando hojas amarillentas principalmente en hojas bajas (Lian et al., 2005). Las deficiencias de N en las plantas disminuyen el crecimiento vegetativo y consecuentemente una disminución en el rendimiento de los granos.

Con los resultados obtenidos en esta investigación para esta variedad, las concentraciones de P se encuentran dentro del intervalo mencionado en plantas superiores (Salisbury y Ross 1994). El P es esencial para muchos glucosfosfatos (Shibata et al., 1995), entre otros participa en la fotosíntesis, formando parte de nucleótidos y de la membrana celular en forma de fosfolípidos, siendo, en algunos casos, fundamental en el metabolismo energético y es el elemento fundamental al momento de siembra ya que en muchos casos determina el desarrollo de la raíz (Liao et al., 2001; Dong et al., 2004; Zhao et al., 2004).

De acuerdo a la concentración de K observada para la variedad IP10 en esta investigación, demuestra concentraciones promedio de 0.63% en granos y 1.60% en biomasa, los resultados de este último coinciden con las reportadas por García (2005), en soja, en cambio las concentraciones observadas en los granos se encuentran por debajo a otras oleaginosas estudiadas.

En la **Tabla 5** se presenta la concentración nutrimental de soja, maní, girasol, canola y cártamo descrita por Ciampitti y García (2007), y de las dos variedades de sésamo (IP10 y K2) estudiadas en esta investigación. En esta **Tabla 5** se pueden comparar las concentraciones de macronutrientes en granos y biomasa de oleaginosas, con los datos correspondientes al sésamo desarrollados en esta investigación que puede ser de utilidad por la escasez de informaciones relacionadas al cultivo en estudio.

Tabla 5. Comparación de la concentración nutrimental (%) reportada para cultivos de oleaginosas y las dos variedades de sésamo estudiadas en la presente investigación.

Cultivo	Granos			Biomasa		
	N	P	K	N	P	K
Soja	5.5	0.5	2.0	2.0	0.10	1.9
Girasol	2.4	0.6	2.3	1.6	0.5	0.6
Canola	3.8	1.1	2.8	2.2	0.4	3.7
Maní	4.4	0.4	1.1	2.5	3.0	2.4
Cártamo	2.7	0.4	0.5	0.8	0.1	1.7
Sésamo K2 ¹	4.2	0.5	0.4	1.3	0.3	1.1
Sésamo IP10 ¹	4.2	0.6	0.4	1.5	0.3	1.6

¹ Investigación, 2017

Tabla 6. Absorción y extracción de N, P y K en dos variedades de sésamo en base seca.

Variedades	Extracción			Absorción (G+B) ¹		
	N	P	K	N	P	K
	kg t ⁻¹					
K2	42	5	4	54	8	15
IP10	42	6	4	56	9	20

¹ Granos + Biomasa

Las variaciones en la concentración en estos cultivos se observan principalmente en N 2.7% a 5.5% y en K de 2.0% a 0.4% en granos, el sésamo se encuentra en una posición intermedia. Es importante mencionar que en el trabajo realizado no se observó ninguna sintomatología de toxicidad o deficiencia de algún elemento.

En la **Tabla 6** se puede observar la absorción y la extracción de macronutrientes en las dos variedades de sésamo, es decir la cantidad de N, P, y K por cada tonelada de biomasa y granos producidos. Este dato es sumamente importante debido a que es el punto de partida para estimar la cantidad de fertilizante a aplicar para el cultivo de sésamo.

Conclusiones

La variedad de sésamo K2 fue superior a la IP10 en el rendimiento de granos y en la acumulación de biomasa aérea.

La fertilización con NPK no influyó en la producción de granos ni biomasa para ninguna de las dos variedades estudiadas.

En las dos variedades de sésamo, la concentración promedio de nutrientes en grano fue de 4.1% de N, 0.43% de P y 0.43% de K y en biomasa 1.40 % de N, 0.33% de P y 1.35% de K.

Con los datos de la concentración nutrimental, el rendimiento de granos, y la acumulación de biomasa,

se determinó la absorción nutrimental de N, P y K, que resulta un punto de partida para realizar mejores prácticas de fertilización para este cultivo agrícola.

Agradecimientos

Al Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR), en especial a la Ing. Agr. Zunilda Pérez por el apoyo en los análisis químicos para el desarrollo de esta investigación.

Bibliografía

- Aguilar, T.M. 2011. Demanda nutrimental de cuatro variedades de fresa (*Fragaria X annanasa*), cultivadas en la región de Zamora, Michoacán. Tesis de maestría. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillos Estado de México, México.
- Bremner, J.M. 1965. Nitrogen availability indexes. In: C.A. Black (Ed). *Methods of soil analysis, part 2- Agronomy 9*. ASA. Madison, Wisconsin, USA.
- Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones Agronómicas*. INPOFOS. 57:1-10.
- Benítez-Pardo, D., M. Hernández-Montoya, T. Osuna-Enciso, M. Valenzuela-López, y B. Galván-Piña. 2003. Muestreo y análisis foliar relacionados con fenología en mango en el sur de Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana* 21: 273-283.
- Castellanos, J.Z., S. Villalobos, J.A. Delgado, J.J. Muños-Ramos, A. Sosa, P. Vargas, I. Lascano, M.E. Álvarez, y S.A. Enríquez. 2001. Use of best management practices to increase

- nitrogen use efficiency and protect environmental quality in Central Mexico. *Commun. Soil Science and Plant Analysis*. 32(7-8):1265-1292.
- Cabral, M.I. 2008. Caracterización agronómica de cuatro variedades de sésamo (*Sesamum indicum* L.), en siembra tardía en el Departamento Central. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY: CIA, FCA, UNA. 41 p.
- Ciampitti, I.A., y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. *Informaciones Agronómicas* No. 33, Archivo Agronómico No. 11. IPNI Cono Sur. Acaassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Cristaldo, M., y J.Q. Paredes. 2001. Producción de *Sesamum indicum* L. influenciado por dosis de diferentes fertilizantes en suelo franco arcilloso. *Investigación Agraria*. 5:25-29.
- Chadha, K.L., J.S. Samra, y R.S. Thakur. 1980. Standardization of leaf-sampling technique for mineral composition of leaves of mango cultivar "Chausa". *Scientia Horticulturae* 13:323-329.
- Dong, D., X. Peng, y X. Yan. 2004. Organic acid exudation induced by phosphorus deficiency and/or aluminum toxicity in two contrasting soybean genotypes. *Physiologia Plantarum* 122:190-199.
- Etchevers, J.D. 2000. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la Fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana*. Vol. 17, No. 3, julio-septiembre, 1999, pp. 209-219.
- Galvis, S.A., J.D. Etchevers, y S. Rodríguez. 1993. Estimación de los rendimientos máximos alcanzables de maíz en áreas de temporal del estado de Tlaxcala. *Terra Latinoamericana* 11:93-99.
- García, F. 2005. Soja. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 27:1-6. INPOFOS Cono Sur. Acaassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Klassen, E. 2006. El sésamo en el Chaco Paraguayo. Seminario sobre actualidad del cultivo de sésamo en el Chaco Paraguayo. Estación Experimental Chaco Central. PY. 4 p. libro.
- Lian, X.M., Y.Z. Xing, H. Yan, C.G. Xu, X.H. Li, y Q.F. Zhang. 2005. QTLs for low nitrogen tolerance at seedling stage identified using a recombinant inbred line population derived from an elite rice hybrid. *Theor. Appl. Genet.* 112:85-96.
- Liao, H., G. Rubio, X. Yan, A. Cao, K. Brown, J.P. Lynch. 2001. Effect of phosphorus availability on basal root shallowness in common bean. *Plant and Soil* 232:69-79.
- López Gorostiaga, O., E. González, y O. Mollina. 1995. Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental. Asunción: MAG SSERNMA - BID. Escala 1/500.000.
- Mazzani, B. 1999. Investigación y Tecnología del Cultivo del Ajonjolí en Venezuela. Venezuela. 12 p.
- Mengel, K., y E.A. Kirkby 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern, Switzerland.
- Oviedo de Cristaldo, R.M. 2007. Introducción y selección de cultivares de sésamo. In *Jornada Técnica - Científica del Cultivo del Sésamo (2007, San Lorenzo, PY)*, Ponencias. San Lorenzo, PY: CIA, FCA, UNA. pp. 2-8.
- Pineda Coronada, M.R. 2009. Respuesta del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L., *Pedaliaceae*) a la fertilización al suelo y foliar en Aldea el Paredón. Tesis de grado. Universidad Rafael. Guatemala.
- Rodríguez, R., V. Serafín, R.J. Méndez, T. Otter, K.E. Barrios. 2006. Innovación productiva y reducción de pobreza: Experiencias paraguayas hacia un crecimiento económico con calidad (en línea). Asunción, PY: PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - Paraguay).
- Rodríguez, S.J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Salisbury, F.B., y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericano S.A. de C.V. México.
- SAS Institute Inc., 2007. SAS OnlineDoc® 9.2. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sosa, A., J. Padilla, J. Ortiz, y J.D. Etchevers. 2012. Biomass Accumulation and its Relationship with the Demand and Concentration of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Lettuce, *Commun. Soil Sci. Plant Analysis*. 43(1-2):121-133.
- Sharma, A.K., S. Bharti, J. Bhatia, S. Nepal, S. Malik, R. Ray, S. Kumari, y D.S. Arya. 2012. Sesamol alivia inducida por la dieta en el síndrome cardiometabólico a través de las ratas hasta la regulación de PPAR, PPAR y e-NOS. *Journal of Nutritional Biochemistr.*
- Shibata, H., Y. Sawa, T. Oka. 1995. Steviol and steviol-glycoside: Glucosyltransferase activities in Stevia rebaudiana Bertoni-Purification and partial characterization. *Arch Biochem Biophys* 321(2):390-396.
- Westerman, L., V. Baird, W. Chistensen, E. Fixen, y A. Whitney. 1990. Soil testing and Plant Analysis. The Soil Science of America. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Young, T.W., y R.C.J. Koo. 1969. Mineral composition of Florida mango leaves. *Florida State Horticultural Society* 82:324-328.
- Zhao J., J. Fu, H. Liao, Y. He, H. Nian, Y. Hu. 2004. Characterization of root architecture in an applied core collection for phosphorus efficiency of soybean germplasm. *Chinese Science Bulletin* 49:1611-1620.



Ensayo de sésamo en Paraguay. Foto: Javier Villaba