



Agraria

Vol. 18, núm. 1, enero-abril 2021 • ISSN 0186 8063



Universidad
Autónoma Agraria
Antonio Narro





Revista científica de la Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro, vol. 18, núm. 1, enero-abril, 2021.

Centéotl, deidad azteca de la agricultura, es una advocación de Chicomecóatl, diosa del maíz. La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en su afán de rescatar los valores del pasado histórico de México, la ha adoptado como logotipo de su revista científica, como símbolo que evoca y reafirma nuestras raíces culturales.

COMITÉ EDITORIAL

Editor en Jefe

Dr. Armando Robledo Olivo

Editor Ejecutivo

M.C. Víctor M. López González

Editores

Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente

Dr. Karim de Alba Romenus

Edición

Delirio. Servicios Editoriales



Cuidado de la edición

Anastasia Rodríguez

Diseño, formación y fotografía de portada

Mayela Crisóstomo

Agraria está indizada, desde 2006, en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal); en la base de datos PERIÓDICA (de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Ciudad de México); y en 2007 fue incluida en la base de datos del Centro Internacional de Investigación Científica (CIRS).

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Dirección de Investigación. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México.

<http://www.uaaan.mx/agraria/>

E-mail: revista_agraria@uaaan.edu.mx

Tel. +52 (844) 411 02 12 y 411 02 80, ext. 2003. Fax +52 (844) 411 02 11

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de la institución editora de la publicación.

Se autoriza la reproducción de artículos si se cita la fuente.

Agraria, vol. 18, núm. 1, enero-abril, 2021, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a través de la Dirección de Investigación. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México. <http://www.uaaan.mx/agraria/> E-mail: revista_agraria@uaaan.edu.mx Tels. +52 (844) 411 02 12 y 411 02 80, ext. 2003. Fax: +52 (844) 411 02 11. Editor responsable: Víctor Manuel López González. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título (en trámite); ISSN 0186-8063, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitud de Título: en trámite. Certificado de Licitud de Contenido: en trámite, que otorga la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa en Digital Color: Artega Norte núm. 225, zona centro, C.P. 25000, Saltillo, Coah. Tel. +52 (844) 481 58 42. Este volumen se terminó de imprimir en enero de 2021, y consta de 200 ejemplares.



CONTENIDO

PÁGINA

- 1** Biofortificación de fresa con selenio y su efecto sobre los macro y micronutrientes en el fruto
Biofortification of strawberry with selenium and its effect on macro and micronutrients in the fruit
L. O. Fuentes-Lara; W. A. Narváez-Ortiz; A. Morelos Moreno; S. González-Morales; A. Juárez-Maldonado; M. Cabrera de la Fuente; A. Benavides-Mendoza
- 7** Uso potencial de las microondas para el secado de productos agrícolas
Potential use of microwaves for drying agricultural products
Adrián Flores-Ortega, Gerardo Martínez-Soto, Elizabeth González-Rincón, Noé Saldaña-Robles, Ryszard Serwatowski, César Gutiérrez-Vaca
- 13** Evaluación de efectos del té de composta, la coinoculación y la fertilización inorgánica en la estimulación del crecimiento en espinaca (*Spinacia oleracea* L.) bajo condiciones de invernadero
Evaluation of effects of compost tea, coinoculation and inorganic fertilization on growth promotion in spinach (*Spinacia oleracea* L.), under greenhouse conditions
Silvia Yudith Martínez-Amador, Laura Adriana Mata-Hernández, Laura María González-Méndez, Alonso Méndez-López, Aída Isabel Leal-Robles
- 23** Uso y aplicación de los sistemas de información geográfica en prácticas de ingeniería agrícola
Use and application of geographic information systems in agricultural engineering practices
G. Demuner-Molina

Biofortificación de fresa con selenio y su efecto sobre los macro y micronutrientes en el fruto

Biofortification of strawberry with selenium and its effect on macro and micronutrients in the fruit



L. O. Fuentes-Lara¹; W. A. Narváez-Ortiz²; A. Morelos Moreno³; S. González-Morales³; A. Juárez-Maldonado⁴; M. Cabrera de la Fuente²; A. Benavides-Mendoza^{*2}

¹Departamento de Nutrición Animal, ²Departamento de Horticultura, ³Cátedras Conacyt-Departamento de Horticultura, ⁴Departamento de Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923. CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Email: abenmen@gmail.com [*Autor responsable]

RESUMEN

El selenio (Se) es un elemento traza, calificado como útil para las plantas y esencial para los animales y humanos. La baja ingesta de Se en los humanos puede mitigarse al biofortificar los cultivos que aportan una parte relevante de las necesidades dietéticas de este elemento. El objetivo de este estudio fue verificar el efecto de la biofortificación con selenio sobre la composición mineral del fruto de fresa, variedad Festival, bajo invernadero. El Se, en forma de selenito de sodio, se aplicó en una solución nutritiva, en concentraciones de 0, 2 y 4 mg L⁻¹. El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar con 40 repeticiones, y la unidad experimental fue una planta en maceta. El tratamiento con selenio no modificó el peso seco de la raíz, tallo ni fruto. El peso seco de las hojas se mantuvo sin cambio con 2 mg L⁻¹, pero disminuyó en el tratamiento con 4 mg L⁻¹. La concentración de Se en los frutos del tratamiento testigo fue de 6.3 mg kg⁻¹ y se elevó cinco veces en los tratamientos con Se. El contenido nutrimental de K, Ca, Mg, Na, Cu y Fe en los frutos no fue diferente en los distintos tratamientos; en cambio, el P y el Zn aumentaron su concentración en los tratamientos con Se, mientras que el Mn disminuyó. La aplicación del selenio con la solución nutritiva demostró ser una buena técnica para aumentar el contenido de Se en el fruto.

Palabras clave: selenito de sodio, calidad nutrimental, frutillas, *Fragaria*.

ABSTRACT

Selenium (Se) is a trace element described as useful for plants and essential to animals and humans. The low Se intake in humans can be mitigated with the biofortification of crops; food plants provide a significant part of the dietary needs of this element. The aim of this study was to verify the effect of Se biofortification on the mineral composition of the fruits of strawberry variety Festival grown in greenhouse. Selenium as sodium selenite was applied to the nutrient solution at concentration of 0, 2 and 4 mg L⁻¹. The experiment was conducted under a completely randomized design with 40 repetitions, the experimental unit was one plant in a pot. Treatment with selenium did not affect the dry weight of the root, stem, and fruit. The dry weight of the leaves remained unchanged with 2 mg L⁻¹ but decreased by treatment with 4 mg L⁻¹. The Se concentration in the fruits of control treatment was 6.3 mg kg⁻¹ and increased fivefold in the treatments with supply of sodium selenite. The content of K, Ca, Mg, Na, Cu and Fe in fruits was not different in the different treatments. In contrast, P and Zn increased in treatments with Se, while the Mn decreased. The application of Se with nutrient solution proved to be a good technique for increasing Se content in the strawberry fruit.

Key words: sodium selenite, nutritional quality, berry fruits, *Fragaria*.



INTRODUCCIÓN

El consumo de alimentos sanos, con alto contenido de nutrientes antioxidantes, contribuyen a la protección celular del daño oxidativo y a la prevención de diversas enfermedades (Broadley *et al.*, 2006). Se considera que el selenio (Se) se relaciona con el metabolismo antioxidante a través de su rol como cofactor de selenoenzimas (Rayman, 2008), y su deficiencia pudiera inducir modificaciones en el balance del estado oxidativo celular. De acuerdo con los datos de 1980 del US Food and Nutrition Board (Broadley *et al.*, 2006), la referencia de la ingesta promedio de Se es de 60 a 75 μg al día; tales valores, sin embargo, se encuentran muy por debajo de los niveles de consumo citados por Diplock (1993), Combs (2001) y Broadley *et al.* (2006), quienes indican que, para reducir el riesgo de cáncer, se requieren hasta 300 μg de Se al día. Broadley *et al.* (2006) señalan que, en general, las plantas cultivadas que crecen en suelos no seleníferos presentan concentraciones de Se de 0.01 a 1 mg/kg de peso seco. Por esta razón, en algunos países donde los suelos son pobres en selenio, este elemento se añade a los fertilizantes que se utilizan para la producción agrícola.

Con el propósito de incrementar la ingesta de selenio, se plantea como estrategia la biofortificación de los cultivos alimenticios con este elemento. El objetivo de esta investigación fue verificar el efecto de la biofortificación sobre la biomasa de la planta y los frutos, y la composición mineral del fruto de fresa, variedad Festival, bajo invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en la ciudad de Saltillo, Coahuila, México. Como material vegetal se usaron plantas de fresa *Fragaria x ananassa* var. Festival, que se colocaron en bolsas de polietileno con capacidad de 5 L, las cuales contenían una mezcla de turba de musgo y perlita a razón de 1:3 (V/V); las bolsas se acomodaron en tres camas con acolchado plástico de 0.8 m de ancho por 10 m de largo.

La nutrición del cultivo se realizó por medio de la solución Steiner (Steiner, 1961), la cual se empezó a aplicar 16 días después de realizada la plantación, inicialmente a una concentración de 15%; la concen-

tración de la solución nutritiva se fue incrementando de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo.

A los 26 días de establecido el cultivo, el selenio se empezó a adicionar en la solución nutritiva como selenito de sodio (Na_2SeO_3 , Merck) a una concentración de 0, 2 y 4 mg L^{-1} , con 99% de pureza.

Las muestras para la determinación del peso seco de la raíz, tallos, hojas y frutos, así como de la concentración de minerales se colectaron 98 días después del trasplante (ddt). Una vez alcanzado el estado de madurez que permite su consumo, los frutos se cosecharon durante las horas de la mañana.

El peso seco de los diferentes órganos se obtuvo a partir de cinco plantas que se tomaron al azar de cada tratamiento. Cada individuo muestreado se disectó en sus diferentes partes, las cuales se colocaron en bolsas de papel debidamente identificadas, y se llevaron a una estufa de secado marca Arsa, en la que se secaron durante 72 horas, a una temperatura de 80° C. Las muestras secas se pesaron en una balanza analítica Sartorius CP224S.

El contenido de P en los frutos se determinó con el método espectrofotométrico (AOAC, 1980), mientras que el K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu y Zn se determinaron por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica de la marca Varian AA-1275 (Fick *et al.*, 1976), en tanto que la concentración de Se se obtuvo por medio de un espectrofotómetro de emisión atómica ICP-OES Radial Simultáneo, de la marca Varian modelos 725-ES.

Para realizar el experimento se usó un diseño completamente al azar con 40 repeticiones por tratamiento: cada concentración de Se consideró un tratamiento y cada planta una unidad experimental. Los datos se obtuvieron mediante un análisis de varianza y pruebas de Tukey ($p \leq 0.05$), con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existen reportes que mencionan efectos positivos de cultivos de especies hortícolas bajo la adición de Se, como el de Germ *et al.* (2005), quienes encontraron dicho efecto sobre la biomasa de frutos de *Cucurbita pepo*. Sin embargo, en el presente estudio no se observaron diferencias entre el peso seco del testigo y los tratamientos de aplicación de Se, una única excepción fue el peso seco de las hojas para el tratamiento con 4 mg L^{-1} de selenio que fue menor al testigo (Cuadro 1). De acuerdo con la concentración

aplicada, el Se puede inducir efectos positivos a negativos. Se ha sugerido que el efecto negativo del Se sobre el crecimiento tiene que ver con la sustitución del S de las proteínas por Se, lo cual pudiera modificar el metabolismo del S en la planta (Landcaster y Boland, 1990; Randle *et al.*, 1994). Éste puede ocurrir en mayor medida en aquellas plantas que por naturaleza acumulan mucho azufre en sus tejidos, como es el caso de la mostaza, especie de la que Fargašová

(2003) reportó una fuerte disminución en el crecimiento al aplicar Se.

Con el resultado anterior suponemos que la concentración adecuada de Se para su aplicación en la fresa no es mayor a 4 mg L⁻¹, es decir, con esta cantidad no ocurre disminución significativa en el peso de los frutos. En el tomate, Pezzarossa *et al.* (1999) obtuvieron resultados análogos aplicando 1 mg L⁻¹ de Se. En el estudio de Ahmed (2010) se observó dismi-

Cuadro 1. Promedios del peso seco para los diferentes órganos de plantas de fresa con aplicación de selenio.

Tratamiento (mg L ⁻¹ Se)	Peso seco de raíz	Peso seco de tallos	Peso seco de hojas	Peso seco de frutos
0	2.891 a [‡]	1.345 a	6.650 a	0.902 a
2	2.808 a	1.311 a	6.131 a	1.016 a
4	2.767 a	1.356 a	4.244 b	0.885 a

[‡]Los promedios seguidos por la misma literal no son diferentes según Tukey (P > 0.05).

Cuadro 2. Concentración de elementos minerales en frutos de fresa bajo diferentes tratamientos de fertilización con selenio.

Tratamiento (mg L ⁻¹ Se)	P	K	Ca	Mg	Na
	(mg g ⁻¹)				
0	1.60 b [‡]	18.30 a	4.30 a	2.50 a	1.90 a
2	2.0 ab	17.40 a	5.50 a	2.20 a	2.90 a
4	4.50 a	16.40 a	4.90 a	2.30 a	3.0 a
Tratamiento (mg L ⁻¹ Se)	Fe	Zn	Mn	Cu	Se
	(mg kg ⁻¹)				
0	453.3 a	66.0 b	40.0 a	14.0 a	6.35 b
2	563.6 a	84.1 a	20.8 b	5.83 a	31.10 a
4	450.0 a	45.6 c	10.0 b	9.0 a	31.30 a

[‡]Los promedios seguidos por la misma literal no son diferentes según Tukey (P > 0.05).

nución de los pesos frescos de tomate, fresa y lechuga al aplicar Se, mientras que Ramos *et al.* (2010) reportaron una marcada disminución en el peso seco de plantas de lechuga al aplicar concentraciones de Se mayores a 1 mg L⁻¹.

La concentración de Se en los frutos del tratamiento testigo fue de 6.3 mg kg⁻¹, y se elevó cinco veces en los tratamientos con Se (Cuadro 2). Desde el punto de vista de la biofortificación con Se, el tratamiento con 2 mg L⁻¹ fue suficiente para elevar significativamente la concentración de este elemento en los frutos, lo que es afín con lo observado en los frutos de tomate por Becvort-Azcurra *et al.* (2012), quienes indican que la concentración de Se en los tejidos vegetales está en función de su disponibilidad en el medio de crecimiento. El efecto del Se en las plantas depende principalmente de su concentración. De acuerdo con Hamilton (2004), el Se tiene tres niveles de actividad biológica: concentraciones traza requeridas para el desarrollo y crecimiento normal; concentraciones moderadas que pueden almacenarse para mantener las funciones homeostáticas, y elevadas concentraciones que pueden resultar en efectos tóxicos. Estudios en *Lolium perenne* y *Lactuca sativa* mostraron que, aunque el Se es perjudicial para las plantas en altas concentraciones: >10 y 1.0 mg/kg, respectivamente, puede ejercer efectos benéficos a bajas concentraciones (Hartikainen *et al.*, 2000; Xue *et al.*, 2001).

Respecto al contenido nutrimental de K, Ca, Mg, Na, Cu y Fe, éste no fue diferente en los frutos de los distintos tratamientos. En cambio, el P y el Zn aumentaron su concentración en los tratamientos con Se, mientras que el Mn disminuyó (Cuadro 2).

Esto parece indicar que la presencia de Se en las concentraciones utilizadas no causó interferencia significativa en la absorción de otros elementos. Lo anterior no se ajusta con lo reportado por Kabata-Pendias y Pendias (1992), quienes mencionan que los niveles altos de selenio en las plantas pueden suprimir la concentración de N en los tejidos, e inhibir la absorción de algunos metales como el Mg. A su vez, Smolén *et al.* (2014) reportan reducción en los niveles de Ca y Mg en raíces de lechuga al realizar aplicaciones foliares de Se y de I, y no observaron diferencia entre el contenido de macronutrientes en las hojas, al aplicar el Se de forma individual.

¿Cuál es la posible explicación a que la presencia de un elemento como el Se modifique la concentración de otros elementos? Una posibilidad es que cree complejos con los iones de los otros elementos, lo que forma precipitados que disminuyen su dis-

ponibilidad. Sin embargo, esa posibilidad es poco probable considerando, por un lado, la pequeña concentración de selenio que se aplica en la solución nutritiva, la ausencia de precipitados en la misma y, sobre todo, no explica que algunos de los elementos hayan elevado su concentración en algunos de los órganos de las plantas. Otra alternativa es que el Se modifique alguna vía metabólica que, de forma indirecta, cambie los patrones de absorción y transporte de otros elementos, la cual resulta una explicación más plausible tomando en cuenta que el Se modifica el balance redox celular (Djanaguiraman *et al.*, 2005; Pilon-Smits *et al.*, 2009), lo que cambia la expresión génica (Flohé *et al.*, 2000) y, posiblemente, la abundancia de transcriptos, así como patrones de regulación post-transcripcional de proteínas (Schiaffon *et al.*, 2015) que movilizan los iones de los elementos que la planta utiliza para su crecimiento.

CONCLUSIONES

La aplicación de Se a las plantas de fresa en concentración hasta 2 mg L⁻¹ no causó modificaciones en la biomasa de la planta y los frutos. La aplicación de selenio a las plantas de fresa en concentración hasta 2 mg L⁻¹, no modificó la concentración de otros elementos minerales del fruto, con excepción del Zn, que lo aumentó, mientras que disminuyó el Mn. En cuanto a la biofortificación con Se, ésta fue efectiva, ya que aumentó cinco veces la concentración de este elemento en los frutos al aplicar 2 mg L⁻¹ de Se en la solución nutritiva.

LITERATURA CITADA

- AHMED, H. K. 2010. Differences between some plants in selenium accumulation from supplementation soils with selenium. *Agric. Biol. J. North America*. 1:1050-1056.
- AOAC (1980). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC USA.
- BEDEVORT-AZCURRA, A., L. O. Fuentes-Lara, A. Benavides-Mendoza, H. Ramírez, V. Robledo-Torres y M.N. Rodríguez-Mendoza. 2012. Aplicación de selenio en tomate: crecimiento, productividad y estado antioxidante del fruto. *Terra Latinoamericana* 30:291-301.
- BROADLEY, M. R., P. J. White, R. J. Bryson, M. C. Meacham, H. C. Bowen, S. E. Johnson, M. J. Hawkesford, S. P. Mc Grath, F. J. Zhao, N. Breward, M. Harriman y M.

- Tucker. 2006. Biofortification of UK food crops with selenium. *Proc. Nutrition Soc.* 65:169-181.
- COMBS, G. F. Jr. 2001. Selenium in global food systems. *British J. Nutrition* 85:17-547.
- DIPLOCK, A. 1993. Indexes of selenium status in human populations. *Am. J. Clinical Nutrition* 57: 256S-258S.
- DJANAGUIRAMAN, M., D. D. Devi, A. K. Shanker, A., Sheeba y U. Bangarusamy (2005). Selenium - an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant Soil* 272:77-86.
- FARGAŠOVÁ, A. 2003. Toxicity comparison of some possible toxic metals (Cd, Cu, Pb, Se, Zn) on young seedlings of *Sinapis alba* L. *Plant Soil Environ.* 50:33-38.
- FICK, K. R., S. M. Miller, J. D. Funk, L. R. McDowell y R. H. Houser. 1976. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. University of Florida. Gainesville, USA.
- FLOHÉ, L., J. R. Andreesen, R. Brigelius-Flohé, M. Maiorino y F. Ursini. 2000. Selenium, the element of the moon, in life on earth. *IUBMB Life* 49:411-420.
- GERM, M., I. Kreft y J. Osvald. 2005. Influence of UV-B exclusion and selenium treatment on photochemical efficiency of photosystem II, yield and respiratory potential in pumpkins (*Cucurbita pepo* L.). *Plant Physiol. Biochem.* 43: 445-448.
- HAMILTON, S. J. 2004. Review of selenium toxicity in the aquatic food chain. *Science of the Total Environment* 326:1-31.
- HARTIKAINEN, H., T. Xue y V. Piironen. 2000. Selenium as an antioxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant Soil* 225:193-200.
- KABATA-PENDIAS, A. y Pendias H. (1992). Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- LANDCASTER, J. E. y M. J. Boland. 1990. Flavor biochemistry. pp: 33-72. In: H.D. Rabionawitch and J.L. Brewster (Eds.). Onions and allied crops. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- PEZZAROSSA, B., D. Piccotino, C. Shennan y F. Malorgio. 1999. Uptake and distribution of selenium in tomato plants as affected by genotype and sulphate supply. *J. Plant Nutr.* 22:1613-1635.
- PILON-SMITS, E. A. H., C. F. Quinn, W. Tapken, M. Malagoli y M. Schiavon. 2009. Physiological functions of beneficial elements. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12:267-274.
- RAMOS, S. J., V. Faquin, L. R. G. Guilherme, E. M. Castro, F. W. Ávila, G. S. Carvalho, C. E. A. Bastos y C. Oliveira. 2010. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant Soil Environ.* 56:584-588.
- RANDLE, W. M., E. B. Block, M. H. Littlejohn, D. Putman D. y M. L. Bussard. 1994. Onion (*Allium cepa* L.) thio-sulfates respond to increasing sulfur fertility. *J. Agric. Food Chem.* 42:2085-2088.
- RAYMAN, M. P. 2008. Food-chain selenium and human health: emphasis on intake. *British J. Nutr.* 100: 254-268.
- SCHIAVON, M., M. Pilon, M. Malagoli y E. A. H. Pilon-Smits. 2015. Exploring the importance of sulfate transporters and ATP sulphurylases for selenium hyperaccumulation—a comparison of *Stanleya pinnata* and *Brassica juncea* (Brassicaceae). *Frontiers Plant Science.* 2015;6:2.
- SMOLÉN, S., I. Kowalska y W. Sady. 2014. Assessment of biofortification with iodine and selenium of lettuce cultivated in the NFT hydroponic system. *Scientia Horticulturae* 166:9-16.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM (SAS Institute) 2001. PROC users manual, version 6th ed SAS Institute, Cary NC, USA.
- STEINER, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15:134-154.
- XUE, T., H. Hartikainen y V. Piironen. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium in senescing lettuce. *Plant Soil* 27: 55-61.

Uso potencial de las microondas para el secado de productos agrícolas

Potential use of microwaves for drying agricultural products



Adrián Flores-Ortega^{*1}, Gerardo Martínez-Soto², Elizabeth González-Rincón²,
Noé Saldaña-Robles¹, Ryszard Serwatowski¹, César Gutiérrez-Vaca¹

¹Departamento de Ingeniería Agrícola, ²Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Carretera Irapuato-Silao, Km. 9, Ex Hacienda El Copal, Irapuato, Guanajuato. C. P. 36500. E-mail: floresoa@ugto.mx, adriforte13@yahoo.com.mx [*Autor responsable].

RESUMEN

Los métodos para el acondicionamiento poscosecha de productos agrícolas son variados: pueden ir desde un simple lavado, fragmentado o secado, hasta un congelado, además de otros. Cada uno de estos procesos involucra el uso de la energía, la cual debe optimizarse. Para el caso específico del secado, estos productos para remover el agua que contienen es necesario aplicar calor para favorecer su evaporación, lo cual demanda relativamente grandes cantidades de energía. En el presente trabajo se analizó el poder energético de las microondas que se aplicaron para el secado de papa y fresa, que se comparó con el método de secado convencional de uso de aire caliente; al término del proceso de secado de la papa, con el uso del microondas el tiempo se redujo de 180 minutos a ocho, lo que implicó un ahorro de energía de 98.7% respecto al método convencional, mientras que para el deshidratado de fresa, el tiempo de secado pasó de 360 minutos a siete, lo que representó un ahorro de energía de 99% respecto al método convencional de uso de aire caliente. Las características fisicoquímicas, reológicas y sensoriales fueron más favorables en el secado con microondas respecto al secado convectivo.

Palabras clave: microondas, energía, secado.

ABSTRACT

Methods of conditioning of harvested agricultural products are diverse, they can range from a simple washing, fragmentation, until drying and frozen, among others. In each of these processes involves the use of energy, which must be optimized. For the specific case of drying, it is necessary to apply heat to remove water by evaporation, which requires relatively large amounts of energy. In this paper, was analyzed the power of the microwave energy and it was applied to dry potato and strawberry, taking into account the time and the amount of energy applied. The results were compared against the conventional method of hot air drying. At the end of the drying process of the potato, the time was reduced from 180 minutes to 8 minutes, involving energy savings of 98.7% compared to the conventional method; while for dehydration process of strawberry, the drying time spent from 360 minutes to 7 minutes, involving an energy saving of 99% compared with the hot air convective method. The physicochemical, rheological and sensory characteristics were more favorable in the microwave drying compared to convective drying.

Key words: microwave, energy, drying.



INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo, la deshidratación se ha empleado como método de conservación de alimentos, lo que elimina parcial o totalmente el agua, disminuye su disponibilidad y, por ende, los procesos biológicos de deterioro, tales como reacciones enzimáticas, desarrollo microbiano, etcétera (Fito *et al.*, 2001; Geankoplis, 2002). Este proceso requiere la aplicación de energía, por lo que se realiza en equipos, es decir, desde simples secadores solares, hasta grandes y sofisticadas instalaciones industriales en las que se expone el producto a una corriente de aire caliente. Así se han procesado vegetales, frutas, carnes, cereales, productos lácteos, salsas y sopas en polvo (Fito *et al.*, 2001).

Los procesos de secado son variados y acordes al tipo y cantidad del producto que se desee procesar, a la cantidad de agua que se debe eliminar y a la calidad final del producto (Quintero, 2012). El secado térmico quizás sea el más común, pero también se han implementado otros, como la radiación infrarroja, las microondas y las radio frecuencias (RF) (Jangam y Mujundar, 2010). Durante el proceso de secado ocurren simultáneamente los fenómenos de transmisión de calor, necesarios para evaporar el agua desde el aire al sólido, y a través de éste, el transporte de vapor de agua mediante difusión o capilaridad; el primer caso se presenta a humedades de 25% (base húmeda) o inferiores, mientras que la capilaridad a niveles de humedad de 65% o más (Casp, 1999; Quintero, 2012).

El modo de acción de las microondas consiste en someter el producto a un campo electromagnético, esto causa agitación en las partículas iónicas y las moléculas de agua, lo que aumenta su energía cinética y, en consecuencia, incrementa la temperatura del producto y origina la evaporación de agua (Quintero, 2012). En este proceso, los factores más importantes que influyen en el secado son: la potencia del campo electromagnético, la cantidad de producto, el contenido de humedad y las propiedades del producto (Zhenfeng *et al.*, 2010). Las radiaciones electromagnéticas se caracterizan por su longitud de onda y su frecuencia. Las microondas se encuentran entre las ondas de radio y las radiaciones infrarrojas con longitudes de onda entre 2.5 y 75 cm y corresponden a frecuencias entre 300 MHz y 300 GHz (Potter, 1990). Los hornos de microondas domésticos operan a 2450 MHz.

Algunas aplicaciones industriales de las microondas incluyen el horneado de pan, galletas y confitería

(Dessev *et al.*, 2011); calentamiento de comidas rápidas (Burfoot *et al.*, 1996); precocimiento de tocino (James *et al.*, 2006 citado por González, 2014); concentraciones de soluciones sensibles al calor (Yuan y Pal, 1995); secado de rebanadas de plátano (Drouzas y Schubert, 1996), de rebanadas de naranja (Ruiz *et al.*, 2003), de fresas y manzanas (Erle y Shubert, 2001), de rebanadas de zanahoria (Cui *et al.*, 2004) y secado de papa en cubos (Bondaruk *et al.*, 2007); así como la pasteurización y esterilización de carne rebanada con salsa (Tang *et al.*, 2008).

A diferencia del secado convencional, donde el calor se transmite por conducción desde la superficie hacia adentro del producto, las microondas penetran de manera uniforme y rápida al interior del alimento, lo que causa una ebullición interna que elimina la humedad más rápidamente (Potter, 1990). Los tiempos de secado se pueden reducir hasta en 50% o más (Quintero, 2012). También puede ocupar menor espacio, lograr el mejoramiento de la calidad del producto, reducir las necesidades de energía y de tiempo del proceso. La desventaja es que el producto puede llegar a quemarse debido a que estos equipos calientan y secan demasiado rápido, y si no se manejan adecuadamente pueden generar radiación y afectar la seguridad del personal (Decreau, 1985). El objetivo de este trabajo fue analizar el poder energético de las microondas y aplicarlos en los procesos de secado de productos agrícolas como una forma de optimizar el proceso y ahorrar energía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se aprovechó la cámara de un horno de microondas comercial de la marca Panasonic, modelo NN-607, con 1.0 ft³ de volumen y 1300 W de potencia. Adicionalmente, se le adaptó un extractor de aire de la marca Centrimax B2 DIVER, modelo 119 de 370 W, con un caudal nominal de 467 m³/h. Para el monitoreo de la temperatura del producto se utilizó un termómetro infrarrojo de la marca Extech, modelo 42530, con capacidad de -50 a 538° C. Para medir la masa del producto a secar se utilizó la balanza digital marca Ohaus modelo Scout pro SP 2001, con capacidad de 2000g ± 1g. Para la colocación de las muestras se utilizó una base de porcelana perforada de 19 cm de diámetro. Adicionalmente, para hacer una comparación entre el secado por microondas y el secado convencional, se usó un secador experimental tipo túnel con una resistencia eléctrica de 2000 W, equi-

pado con un ventilador 170 W y 233 m³/h de caudal de aire.

Para estimar el poder energético de las microondas, se colocaron muestras de agua de 100 mm en un recipiente, y el horno se puso en funcionamiento durante 30 s; al término de este tiempo, se midió la temperatura alcanzada y la cantidad de agua evaporada para determinar el tiempo de exposición del producto a la radiación sin exceder la temperatura recomendada para su secado.

En las pruebas de secado se seleccionaron dos productos típicos de la región de Irapuato, Gto.: fresas y papas de la mejor calidad y en buen estado. Se lavaron para retirar las partículas extrañas y se cortaron en rodajas con volumen de 2.18 cm³ aproximadamente para la fresa, y las papas fueron peladas y cortadas en rodajas con un volumen aproximado de 2.41 cm³ (González, 2014).

Con el fin de prevenir el oscurecimiento, previo a la acción del secado, las rodajas de papa se sometieron, durante cinco minutos, a un escaldado en agua caliente a 85° C; posteriormente, por un tiempo de 10 minutos se sumergieron en una solución de ácido ascórbico al 0.1% como conservador. A ambos productos, para removerles cierta cantidad de agua, se

les sometió a un tratamiento osmótico durante cuatro horas: se colocaron 100 gr de rodajas de papa en 500 ml de una solución osmótica a base de cloruro de sodio, con concentración de 5%, a temperatura de 40° C, y a 100 gr de rodajas de fresa se le añadió 100 gr de sacarosa, dispersada homogéneamente (González, 2014). Durante este proceso se registró la pérdida de peso, ganancia de sólidos solubles totales, humedad, encogimiento, actividad de agua, color y textura, en intervalos de cada hora a lo largo del tratamiento.

Posteriormente, las muestras se sometieron a la acción de las microondas a distintos niveles de potencia, controlando que la temperatura no rebasara los 50 a 60° C; se les dio un tiempo de reposo y se removió la humedad mediante la corriente de aire del ventilador. Se realizaron lecturas de masa resultante de las muestras a intervalos de 1.0 minuto, hasta completar el tiempo de secado.

Al mismo tiempo, muestras con las mismas características anteriores se sometieron al deshidratado por aire caliente a través de un secador tipo túnel, a una temperatura promedio de 60° C. Se realizaron lecturas de masa de las muestras, a intervalos de 10 minutos, hasta completar el tiempo de secado.

Cuadro 1. Poder energético de las microondas.

Tiempo [s]	Potencia baja		Potencia media		Potencia alta	
	Temperatura [°C]	Volumen de agua [mililitros]	Temperatura [°C]	Volumen de agua [mililitros]	Temperatura [°C]	Volumen de agua [mililitros]
0	26	100	26	100	26	100
30	44	99	58	98	64	97
60	53	97	78	96	95	93
90	60	96	90	87	95	84
120	73	95	95	84	95	77
150	76	94	97	80	95	67
180	85	93	97	75	95	58
210	93	91	98	67	95	55
240	94	90	98	60	95	45

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El poder energético de las microondas se muestra en el Cuadro 1. En él se observa que, durante 30 segundos de operación sobre los 100 g de agua, con el nivel de potencia bajo, se logra alcanzar la temperatura recomendable de secado, mientras que con la potencia media y alta se supera la temperatura máxima recomendada, lo cual representa un riesgo de sobrecalentar el producto. Además, la capacidad de generar una evaporación de agua es menos brusca a una potencia baja, por lo que puede exponerse el producto hasta a un minuto de radiación.

En la gráfica de la Figura 1, se muestra la tendencia al incremento de la temperatura cuando el tiempo de exposición a la radiación en la potencia baja es de 10 segundos y otros 10 de reposo y, además, cuando se somete a la acción del ventilador para retirar la humedad y enfriar la cámara. Se observa que, para una acción de la radiación de manera continua, difícilmente se logrará retirar toda la humedad generada y enfriar el producto lo suficiente para no sobrecalentarlo.

Los resultados más adecuados de secado por microondas fueron las combinaciones de 10 segundos sometidos a radiación, por 50 segundos de reposo, con la acción solamente del ventilador para la remoción de humedad y enfriamiento del producto. En las gráficas de las Figura 2 se muestran los tiempos de secado de las rodajas de papa con microondas (Figura 2a) y con aire caliente (Figura 2b).

Como puede observarse, el tiempo promedio de secado con microondas tarda, en promedio, de 7 a 8 minutos para alcanzar la humedad de equilibrio; mientras que con el método convencional con aire caliente tarda, en promedio, 180 minutos en alcanzar la humedad de equilibrio. Considerando la potencia del horno de microondas y que su accionamiento es de 10 segundos por cada minuto de operación, y el extractor de aire trabaja de manera continua, durante los ocho minutos de trabajo el sistema consumirá 36.8 W-h. Para el secador tipo túnel, el ventilador opera de manera continua, mientras que la resistencia eléctrica que calienta el aire se acciona de 8 a 10 veces por hora con una duración de dos minutos, por lo que, en una hora de trabajo del secador se invierten 970 W-h y, entonces, en tres horas de operación se consumirán 2910 W-h. La energía usada en el secado por microondas representa apenas 1.26% de la energía que consume el secador tipo túnel. Para el

caso de la fresa, el tiempo promedio que tarda en alcanzar la humedad de equilibrio es de 6 a 7 minutos (Figura 3a), mientras que con aire caliente tarda, en promedio, 360 minutos (Figura 3b).

El consumo energético por el sistema de horno de microondas con extractor de aire es de 32.2 W-h, mientras que para el secador tipo túnel es de 5820 W-h, lo que representa sólo 0.55% de energía consumida respecto al método convencional.

Al término de los procesos de secado, en ambos métodos se analizaron algunas propiedades de los productos finales, entre ellas el color, respecto al cual se obtuvo una tonalidad mayor para el secado por microondas. En cuanto a la textura, para el caso del secado por microondas, se registró una fuerza mayor para la penetración en comparación con el secado por túnel, lo cual indica que con el secado por microondas los productos resultan más crujientes. Los datos que se obtuvieron fueron similares a los reportados por Arballo (2013) y Contreras (2006). El grado de aceptabilidad de los productos finales fue a favor del deshidratado por microondas en ambos productos, debido a la textura y el sabor que adquieren, aunque para el caso de la fresa, el nivel de agrado es similar, ya que la textura y sabor son muy análogos al deshidratado por ambos métodos.

CONCLUSIONES

El uso de microondas es factible para los procesos de secado, aunque la forma de empleo va a depender de las características reológicas del producto, la cantidad del producto a procesar y la cantidad de agua a eliminar. Esto determina la potencia del campo electromagnético, el caudal de aire a impulsar, el tiempo de exposición del producto a la radiación y el reposo, entre otros. Por otra parte, es importante conocer las características de los productos biológicos, pues una mayor temperatura del aire o un incremento en los niveles de potencia pueden implicar una reducción en el tiempo de secado, la disminución de la actividad de agua, pero este aumento puede ocasionar daños estructurales en los alimentos a deshidratar.

En realidad no existen estudios contundentes respecto al efecto que genera en los humanos el consumo de alimentos sometidos a radiación, pero en la operación de los equipos deben atenderse las recomendaciones de los fabricantes para una operación segura.

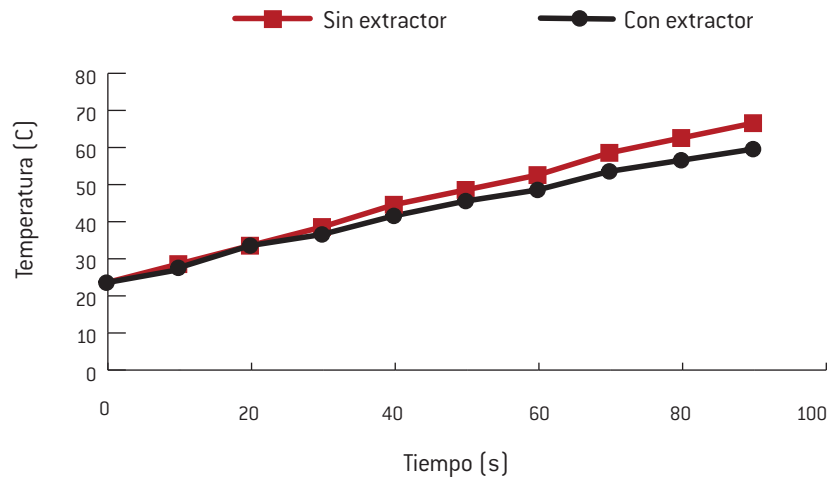
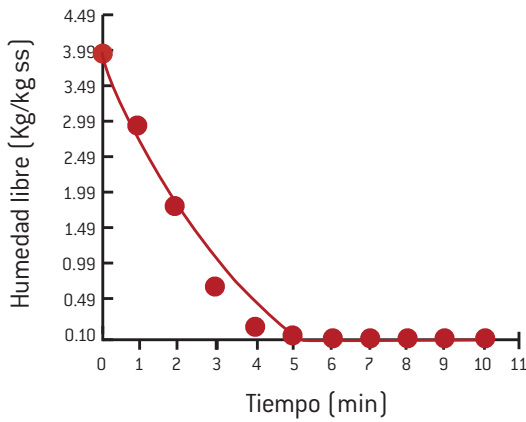
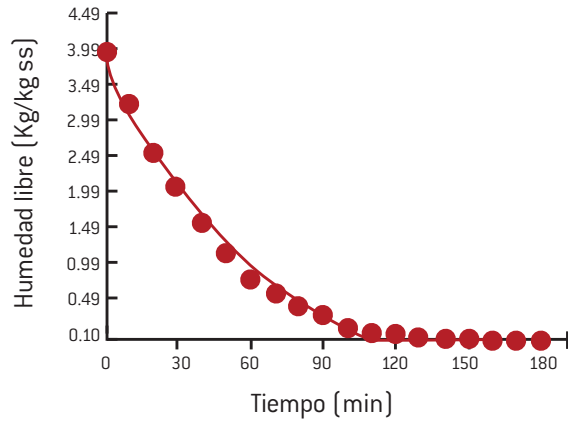


Figura 1. Cambio de temperatura en el agua sometido a radiación y ventilación.

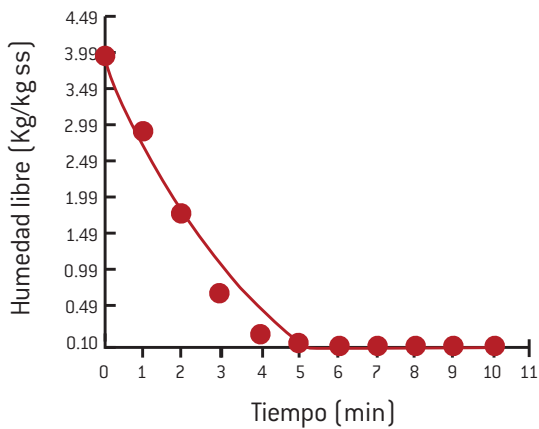


a) Microondas

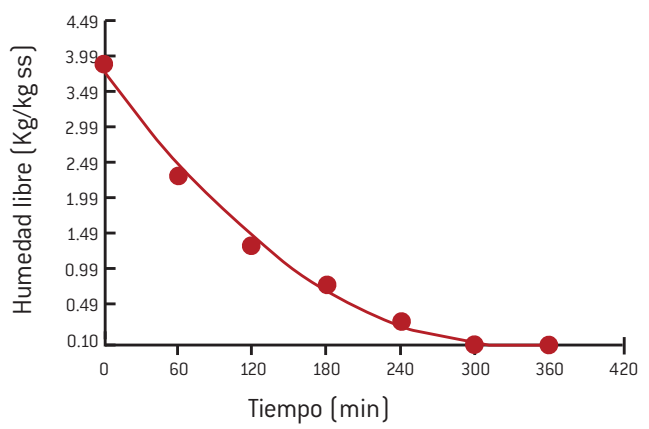


b) Aire caliente

Figura 2. Tiempo de secado de papa.



a) Microondas



b) Aire caliente

Figura 3. Tiempo de secado de fresa.

LITERATURA CITADA

- ARBALLO, R. J. 2013. Modelado y simulación de la deshidratación combinada osmótica y microondas de Fruhorticolas. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Nacional de la Plata, Argentina.
- BONDARUK J., M. Markowski, y W. Blaszcak, 2007. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal Food Engineering* 81: 306-312.
- BURFOOT D., C. Railton, A. Fosterb y S. Reavell, 1996. Modelling the pasteurization of prepared meals with microwaves at 896 MHz. *Journal of Food Engineering* 30: 117-133.
- CASP, A. 1999. Proceso de conservación de alimentos. Editorial Mundi prensa.
- Contreras M. C. 2006. Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas. Tesis Doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- CUI, Z. y D. Sun, 2004. Microwave-vacuum drying kinetics of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 65 (2): 157-164.
- DECREAU, R. V. 1985. Microwaves in the processing industry. *Journal of Food Process Engineering* 25: 123-130.
- DESSEV, T., V. Jury y A. Le-Bail, 2011. The effect of moisture content on short infrared absorptivity of bread dough. *Journal of Food Engineering* 104 (2011): 571-576.
- DROUZAS, A. E. y H. Schubert, 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. *Journal of Food Engineering* 28(2): 203-209.
- ERLE, U. y H. Schubert, 2001. Combined osmotic and microwave vacuum dehydration of apples and strawberries. *Journal of Food Engineering* 49: 193-199.
- GEANKOPLIS, C. J. 2002. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Ed.3ra. Editorial CECSA.
- GONZALEZ, R. E. 2014. Análisis Físicoquímico, Reológico y Sensorial de Alimentos deshidratados Mediante Microondas. Tesis, Universidad de Guanajuato, México.
- JANGAM, S. V. y A. S. Mujundar, 2010. Basic concepts and definitions. pp. 1-30. In S. Jangam V., C. L. Law y A. S. Mujumdar (Ed.). *Drying of foods, vegetables and fruits, Volume 1*, ISBN – 978-981-08-6759-1, Published in Singapore.
- PEREIRA, N., Jr. A. Marsaioli y L. M. Ahrné, 2007. Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Engineering* 81: 79-87.
- POTTER, N. N. 1990. La ciencia de los alimentos. Ed. 3ra. Harla.
- QUINTERO, A. 2012. Tendencias y aplicaciones en el secado de alimentos. Conferencia Magistral en el XIV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología, Monterrey, NL, México.
- RUIZ, G. , J. Martínez, P. Fito y A. Chiralt, 2003. Modelling of dehydration-rehydration of orange slice in combined microwave / air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4 (2): 203-209.
- TANG, J., Nindo y W. Zhang, 2008. Physical properties of egg whites and whole eggs relevant to microwave pasteurization. *Journal of Food Engineering* 118 (1): 62-69.
- YUAN, F. y R. Pal, 1995. Measurement of solids concentration in aqueous slurries using a microwave technique. *Chemical Engineering Science* 50: 3525-3533.
- ZHENFENG-LI, G., S. V. Raghavan y V. Orsat. 2010. Optimal power control strategies in microwave drying. *Journal of Food Engineering* 99: 263-268.

Evaluación de efectos del té de composta, la coinoculación y la fertilización inorgánica en la estimulación del crecimiento en espinaca (*Spinacia oleracea* L.) bajo condiciones de invernadero

Evaluation of effects of compost tea, coinoculation and inorganic fertilization on growth promotion in spinach (*Spinacia oleracea* L.), under greenhouse conditions



Silvia Yudith Martínez-Amador¹, Laura Adriana Mata-Hernández¹, Laura María González-Méndez¹, Alonso Méndez-López¹, Aída Isabel Leal-Robles¹

¹Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. E-Mail: laura.gonzalez@uaaan.edu.mx [*Autor responsable]

RESUMEN

Los biofertilizantes son productos naturales que contribuyen a restaurar la microbiota del suelo, e inducen en las plantas tolerancia al estrés biótico y abiótico, lo que favorece, por tanto, su desarrollo. El objetivo del presente estudio fue evaluar en espinaca (*Spinacia oleracea* L.), bajo condiciones de invernadero, los efectos promotores del crecimiento del té de composta, de la coinoculación con dos microorganismos benéficos (*Azospirillum brasiliense*/*Glomus intraradices*) y de la fertilización inorgánica. Los tratamientos se aplicaron semanalmente, desde los 19 hasta los 61 días después de la emergencia, y cinco de seis muestreos (del día 26 al 53) del tratamiento con té de composta + fertilización inorgánica (TCFI) manifestaron un incremento significativo del peso seco en raíz, tallo y hoja, seguidos por los de té de composta (TC), que resultaron más elevados que los de la coinoculación y la fertilización inorgánica, solas o en combinación. Se encontraron resultados no significativos en los valores de área foliar en los dos primeros muestreos (26 a 33 días), y que predominó el efecto del té de composta en el muestreo 3 (a los 40 días), y el de la fertilización inorgánica en el muestreo 4 (día 40), esta última relacionada con el

ABSTRACT

Biofertilizers are natural products that help restore the microbiota of the soil, and induce in plants tolerance to biotic and abiotic stress, which therefore favors its development. The objective of this study was to evaluate in spinach (*Spinacia oleracea* L.), under greenhouse conditions, the promoting effects of compost tea growth, co-association with two beneficial microorganisms (*Azospirillum brasiliense*/*Glomus intraradices*) and inorganic fertilization. Treatments were applied weekly, from 19 to 61 days after the emergency, and five out of six samplings (from day 26 to 53) of treatment with compost tea + inorganic fertilization (TCFI) showed a significant increase in dry weight in root, stem and leaf, followed by those of compost tea (TC), which were higher than those of co-oculation and inorganic fertilization, alone or in combination. Non-significant results were found in foliar area values in the first two samples (26 to 33 days), predominantly the effect of compost tea on sampling 3 (at 40 days), and inorganic fertilization in sampling 4 (day 40), the latter related to the start of the flowering stage. It was concluded that compost tea produces, in combination with inorganic fertilization, a good growth-promoting effect, so further

inicio de la etapa de floración. Se concluyó que, en combinación con la fertilización inorgánica, el té de composta produce un buen efecto promotor del crecimiento, por lo que se recomienda realizar más estudios para considerar su empleo como una opción complementaria en la producción de espinaca, y así reducir el empleo de fertilizante inorgánico, que pudiera impactar negativamente en el suelo y la planta.

Palabras clave: *Azospirillum*, biofertilizantes, *Glomus*, solución Steiner.

studies are recommended to consider its use as a complementary option in spinach production, and thus reduce the use of inorganic fertilizer, which could negatively impact the soil and plant.

Key words: *Azospirillum*, biofertilizers, *Glomus*, Steiner solution.

INTRODUCCIÓN

Los biofertilizantes son productos naturales a los que se les reconocen las siguientes propiedades: fijadores de nitrógeno, estabilizadores de fósforo, promotores del crecimiento (calidades específicas que poseen bacterias del género *Azospirillum* y hongos del género *Glomus*), mejoradores de suelo (composta y sus derivados), y además contienen microorganismos capaces de controlar patógenos, como es el caso del té de composta (Venegas *et al.*, 2005; Edwards, Arancón and Greytack, 2006; Dukare *et al.*, 2011; Román *et al.*, 2013; Mahanthi *et al.*, 2017). Los biofertilizantes fortifican las plantas, porque contribuyen con vitaminas y fitohormonas, lo que incrementa el rendimiento del cultivo (April & Keller, 1990; Martínez *et al.*, 2001; Irizar-Garza *et al.*, 2003; Alfonso *et al.*, 2005; Auge, 2006; Vázquez-Vázquez *et al.*, 2015; Luna-Quecaño *et al.*, 2020).

Los desechos orgánicos constituyen una opción ecológica y económica para la fabricación de composta, por lo que representan una herramienta tecnológica para el mejoramiento del suelo y el desarrollo del cultivo, además de que evitan el empleo de fertilizantes inorgánicos y contribuyen a la disminución de los costos de producción (Cook, 2000; Barzegar *et al.*, 2002; Venegas *et al.*, 2005; Silva-Arroyave *et al.*, 2009; Acuña, 2013; Román *et al.*, 2013; Restrepo *et al.*, 2014). El té de composta es una solución rica en nutrientes y microorganismos aerobios benéficos resultantes de la reacción de composta con agua: *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Rhizobium*, microrrizas, hongos, protozoos, nematodos, los cuales pueden fermentar en pocos días o más de dos semanas, con o sin ventilación activa, y con adición de nutrientes, tales como melaza, caseína, biocarbono, que proveen a las plantas de cultivo de una adecuada nutrición, así

como de protección contra enfermedades, vía aplicaciones foliar y en el suelo (Ingham, 2005; Ochoa-Martínez *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2015; Edenborn *et al.*, 2018).

Zacardelli *et al.* (2018) evaluaron el efecto de la aplicación foliar del té de composta en chile poblano (*Capsicum annum* L.) en dos áreas separadas, y observaron un incremento de 21.9 y 16.3% en la producción del número de frutos por planta, respectivamente. Resultados parecidos reportaron Pane *et al.* (2014), al aplicar té de composta en lechuga y nabo sueco, en los que se obtuvo un incremento de rendimiento de 24 y 32%, respectivamente. También Álvarez *et al.* (2015) han mostrado que el té de composta incrementa el crecimiento, desarrollo y la intensidad del color verde en hortalizas de hoja.

Los microorganismos juegan un papel esencial en la agricultura, tal como *Azospirillum brasilense*, una bacteria que se ha aislado de la rizósfera de un rango amplio de plantas silvestres y de cultivo; estos microorganismos son responsables de realizar la fijación biológica de nitrógeno, de la producción de sideróforos, de la solubilización de fósforo, del incremento en la aparición de pelos radicales y, también, de la promoción del crecimiento vegetal, a través de mecanismos fisiológicos, por la producción de fitohormonas y poliaminas, como la auxina y cadaverina (Levahonny y Bashan, 1991; Okon y Labandera-González, 1994; Dobbelaere *et al.*, 1999; Burdman, Okon y Jurkevitch, 2000; Perrig *et al.*, 2007; Cassan *et al.*, 2009; Camelo, Vera y Bonilla, 2011; García-Olivares, Mendoza-Herrera y Mayek-Pérez, 2012).

Las endomicorrizas arbusculares constituyen una asociación simbiótica donde el hongo crece en el interior de la raíz de la planta, lo que promueve la absorción de fósforo y produce fitohormonas, como las auxinas, así como azúcares, lípidos y proteínas (Tien

et al., 1979), e inducen tolerancia a la salinidad y metales pesados, además de prevenir enfermedades por microorganismos patógenos presentes en la raíz (Auge, 2006; April et al., 2014). *Glomus intraradices* es un hongo endomicorrízico arbuscular que ha sido reportado por incrementar la absorción de agua y fósforo soluble por la planta (Irizar-Garza et al., 2003; Vierheilig, 2004; Barrera-Berdugo, 2009; Lira-Saldívar et al., 2014; Geo, Nair and Vijayan, 2018).

Numerosos estudios se han enfocado en la valoración de los efectos en el crecimiento de las plantas con la inoculación de semillas con bacterias del género *Azospirillum* y micorrizas (*Glomus*). Walker et al. (2012) probaron los efectos de interacciones entre *Pseudomonas-Azospirillum-Glomus*, combinados y en forma independiente, en un cultivo de maíz, y reportaron que la inoculación y la coinoculación no tuvieron impacto alguno en la biomasa vegetal, pero sí incrementaron la superficie radical total, el volumen radical, además de desencadenar cambios benéficos significativos en el funcionamiento de la raíz. La coinoculación de semillas con bacterias rizosféricas y micorrizas arbusculares permite la producción ecológica y sostenible de tomate y hortalizas de hoja a través del mantenimiento de la fertilidad del suelo, además de prevenir un impacto ambiental debido a la contaminación por químicos inorgánicos (Alfonso et al., 2005; González-Solano et al., 2013; Hegazi et al., 2014; Vázquez-Vázquez et al., 2015).

La bacteria rizosférica *Azospirillum brasilense* y la micorriza *Glomus intraradices*, utilizadas en combinación con té de composta, podrían proveer de nitrógeno inorgánico y fósforo soluble para el metabolismo vegetal (April y Keller, 1990). Hegazi et al. (2014) encontraron que los compuestos químicos inorgánicos, añadidos al té de composta, aumentaron el área foliar, los pesos fresco y seco en frijol caupí (*Vigna unguiculata*). El objetivo del presente trabajo es, por tanto, evaluar efectos promotores de crecimiento en plantas de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) bajo condiciones de invernadero, con la aplicación de té de composta, coinoculantes y fertilización inorgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Siembra y coinoculación de semillas

La siembra de plántulas de espinaca se llevó a cabo durante los meses de junio a septiembre de 2018, en el laboratorio de Biotecnología del Departamento de

Botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en la ciudad de Saltillo, Coahuila. Se colocaron las semillas en cuatro charolas de poliestireno con 200 cavidades –una semilla por cavidad–, en sustrato de peat moss. De un total de 800 semillas, 400 se coinocularon con *Azospirillum brasilense/Glomus intraradices*, de acuerdo con las técnicas empleadas por Sánchez de la Cruz et al. (2008) y Villa Castro et al. (2014); se colocaron en el invernadero a 28° C, hasta que alcanzaron 19 días de la emergencia, y luego se trasplantaron en macetas de tres litros que contenían suelo, peat moss y perlita.

Té de composta

El té de composta se elaboró con una composta de desechos vegetales y estiércol en una proporción de 80:20, respectivamente, la cual tuvo cinco meses de maduración; luego de este tiempo, a cada 20 litros se le agregó 1 kg de composta y se dejó reposar, con aireación, durante siete días.

Fertilización inorgánica

La fertilización inorgánica se realizó con solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1984), la cual se aplicó una vez por semana, tanto a semillas coinoculadas y como no coinoculadas. La solución se aplicó a 25% durante los primeros 45 días, y a 50%, por el resto del experimento (hasta el día 61).

Para realizar este estudio, se llevaron a cabo un total de siete tratamientos, según se puede apreciar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos aplicados.

Tratamiento	Descripción
TC	Té de composta
TCFI	Té de composta + fertilización inorgánica
FI	Fertilización inorgánica
C	Control
TCCi	Té de composta + coinoculación
Ci	Coinoculación
CiFI	Coinoculación + fertilización inorgánica

Manejo de plagas y enfermedades

El manejo de plagas y enfermedades se realizó a través de la aplicación del producto Bralic, compuesto por extracto de ajo y *Bacillus* (*Allium* spp 12.5% + DiPel DF *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki*), para eliminar *Trips* spp, *Liriomyza* sp, y *Bemisia tabaci*.

Técnicas analíticas

Las variables experimentales que se evaluaron fueron: peso seco de la raíz, peso seco del tallo, peso seco de la hoja y área foliar. Las observaciones se realizaron a través de seis muestreos semanales, a partir de los 19 días después de la emergencia, hasta el desarrollo vegetativo completo (día 66); el área foliar se determinó con un medidor LI-COR modelo LI3100C, mientras que el peso seco de raíz, tallo y hoja se obtuvo colocando porciones de cada órgano en bolsas de papel de estraza, que se secaron en una estufa TERLAB modelo TE-H70DM durante 48 horas, a 65° C, para luego dejarlas a temperatura ambiente durante una hora adicional y posteriormente pesarlas de manera individual en una balanza analítica US SOLID modelo USS-DBS15-3.

Las unidades experimentales se establecieron con un diseño en bloques al azar con 21 repeticiones; los datos se obtuvieron a partir de tres plantas, y luego, con el *software* InfoStat 2018 se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a una comparación de medias con la Prueba de Tukey ($p > 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso seco

El Cuadro 2 y la Figura 1 muestran que, a partir del muestreo 3, hubo incrementos significativos en peso seco de la raíz de espinaca con la aplicación del té de composta, en combinación con la fertilización inorgánica, comparado con la coinoculación con *Azospirillum brasilense*/*Glomus intraradices* y la fertilización inorgánica. En el muestreo 5 (día 54), TCFI (té de composta + fertilización inorgánica) se registró un efecto hasta 93.11% mayor que TC (té de composta), y en el 6 (día 61) no hubo efecto significativo en relación con los otros tratamientos. González-Solano *et al.* (2013), tras aplicaciones de té de vermicomposta, encontraron un aumento significativo en el crecimiento de la raíz en albahaca y lechuga, seguidas por aquellas con solución Steiner (fertilización inorgánica), según se puede observar en el presente estudio. Resultados parecidos encontraron Kim *et al.*

(2015), en cuyo estudio el crecimiento de brotes y raíces aumentaron significativamente tras las aplicaciones de té de vermicomposta en lechuga de hoja roja, maíz dulce y soya. Tal como mencionan Tien *et al.* (1979), un mayor desarrollo de la raíz favoreció el transporte de agua y minerales con la promoción del desarrollo de pelos radicales por la fitohormona auxina (AIA), la cual está presente en los productos a base de composta (Alarcón y Ferrara, 2000).

El Cuadro 2 y la Figura 2, en los valores promedios de peso seco de tallo, también mostraron diferencias significativas con la aplicación de TCFI (té de composta + fertilización inorgánica) en las muestras 3, 4 y 5 (días 33, 40 y 47), de las cuales la 5 alcanzó un efecto 92.6% mayor que con CiFI (co-inoculación + fertilización inorgánica); únicamente la solución Steiner (fertilización inorgánica), en la muestra 4 mostró un efecto 93.13% mayor que la aplicación de TC (té de composta). González-Solano *et al.* (2013) encontraron en un cultivo hidropónico de tres especies de hortalizas de hoja (albahaca, cilantro y lechuga) un incremento en la biomasa seca del tallo y hoja con la aplicación de té de vermicomposta.

En el presente estudio, el té de composta + fertilización inorgánica (TCFI) produjo una diferencia altamente significativa en cuatro de las seis muestras, por lo que resultó el mejor estimulante en la acumulación de peso seco de tallo. De acuerdo con el análisis de varianza, el Cuadro 2 muestra diferencias significativas en el peso seco de la hoja. En el Cuadro 2 y la Figura 3 se observan efectos significativamente diferentes entre los tratamientos, de los cuales destaca el efecto que ejerce el tratamiento TCFI (té de composta + fertilización inorgánica) a partir del tercer muestreo (40 días después de la emergencia), que se manifiesta al máximo en el muestreo 5 (días 54), el cual fue 95.81% superior, y en el caso de la solución Steiner (FI), en el muestreo 4 (día 47) es el momento en el que ejerce un efecto máximo, pero al igual que el tratamiento TCFI (té de composta + fertilización inorgánica), declina en el muestreo 6 (día 61).

Al parecer, el inicio de la etapa de floración requiere menos elementos minerales inorgánicos, ya que el control (C) predomina en dicho muestreo. Resultados similares encontraron González-Solano *et al.* (2013) en cilantro, albahaca y lechuga, así como Hegazi y Algharib (2014) en frijol castilla (*Vigna unguiculata*), que la combinación té de composta con solución Steiner influyó significativamente en el incremento de peso seco de la hoja, en la etapa vegetativa avanzada. En el presente estudio, el tratamiento

TCFI (té de composta + solución Steiner) mostró una tendencia hacia el incremento en peso seco de la hoja, en cuatro de los seis muestreos.

Área foliar

De acuerdo con el Cuadro 3, los tratamientos que muestran efectos significativos en el incremento de área foliar son: el de TCFI (té de composta + fertilización inorgánica) en los muestreos 3 y 5 (días 40 y 54 de emergencia), y el de la aplicación de solución Steiner (FI), en el muestreo 4 (día 47). En el

muestreo 6 (día 61) solamente se observó un testigo (C) numéricamente superior que el resto de los tratamientos, cuyo efecto disminuyó. Este último muestreo coincide con el inicio de la floración, en la cual ocurre un redireccionamiento de los nutrientes. Moncayo *et al.* (2015) reportan un incremento de área foliar en albahaca, tras la aplicación de solución nutritiva en arena y de efluente de vermicomposta, así como el estudio de González-Solano *et al.* (2013), quienes obtuvieron resultados similares en cilantro, con el empleo de ambos tipos de soluciones.

Cuadro 2. Valores promedio de peso seco en espinaca, en seis muestreos semanales [26 a 61 días de la emergencia].

Tratamientos	Muestreos												
	1	2	3	4	5	6							
Raíz	TC	0.03	A	0.05	A	0.07	BCD	0.09	AB	0.17	B	0.14	A
	TCFI	0.02	B	0.04	AB	0.22	A	0.19	A	0.28	A	0.18	A
	FI	0.02	B	0.04	A	0.11	B	0.17	AB	0.08	BC	0.26	A
	C	0.02	B	0.04	A	0.09	BC	0.13	AB	0.07	C	0.17	A
	TCCi	0.02	BC	0.04	BC	0.06	CDE	0.08	AB	0.05	C	0.07	A
	Ci	0.02	BC	0.02	BC	0.04	DE	0.03	B	0.02	C	0.02	A
	TCFI	0.01	C	0.02	C	0.01	E	0.03	AB	0.02	C	0.08	A
Tallo	TC	0.03	A	0.05	A	0.07	BCD	0.09	AB	0.17	B	0.14	A
	TCFI	0.02	B	0.04	AB	0.22	A	0.19	A	0.29	A	0.18	A
	FI	0.02	B	0.04	A	0.11	B	0.17	AB	0.08	BC	0.26	A
	C	0.02	B	0.04	A	0.09	BC	0.13	AB	0.07	C	0.17	A
	TCCi	0.02	BC	0.04	BC	0.06	CDE	0.08	AB	0.05	C	0.07	A
	Ci	0.02	BC	0.02	BC	0.04	DE	0.03	B	0.02	C	0.02	A
	CiFI	0.01	C	0.02	C	0.01	E	0.03	AB	0.02	C	0.08	A
Hoja	TC	0.17	BC	0.26	CD	0.81	C	0.16	C	2.42	AB	0.95	B
	TCFI	0.27	A	0.54	A	2.99	A	0.95	BC	3.81	A	2.86	A
	FI	0.25	A	0.46	AB	1.72	B	3.81	A	1.58	BC	2.09	A
	C	0.23	AB	0.43	ABC	0.40	C	1.35	BC	1.25	BC	2.94	A
	TCCi	0.16	CD	0.36	ABCD	0.42	C	1.70	B	0.69	C	1.01	B
	Ci	0.17	BC	0.17	D	0.55	C	0.25	C	0.41	C	0.93	B
	TCFI	0.10	D	0.17	BCD	0.29	C	0.41	BC	0.43	C	0.77	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). TC= té de composta, TCFI= té de composta + fertilización inorgánica, FI= fertilización inorgánica, C= control, TCCi = té de composta + coinoculación, Ci= coinoculación, CiFI= coinoculación+ fertilización inorgánica.

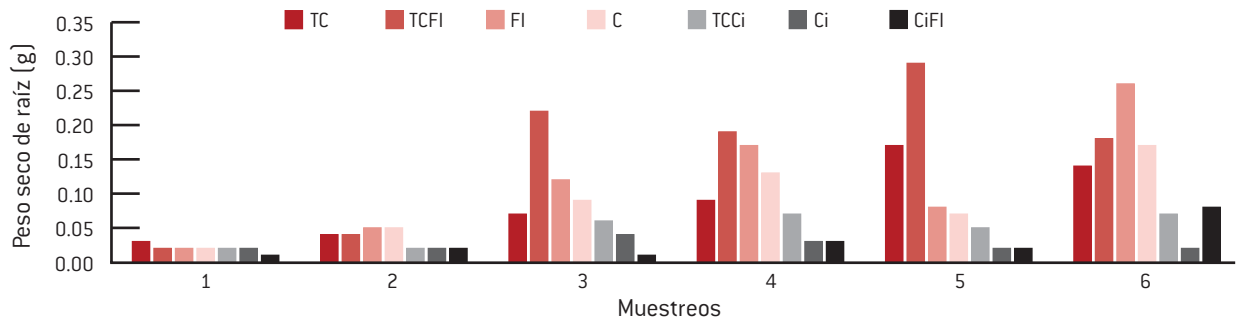


Figura 1. Medias de peso seco de raíz de espinaca, obtenidas de seis muestreos semanales, a partir de los 26 días de la emergencia.

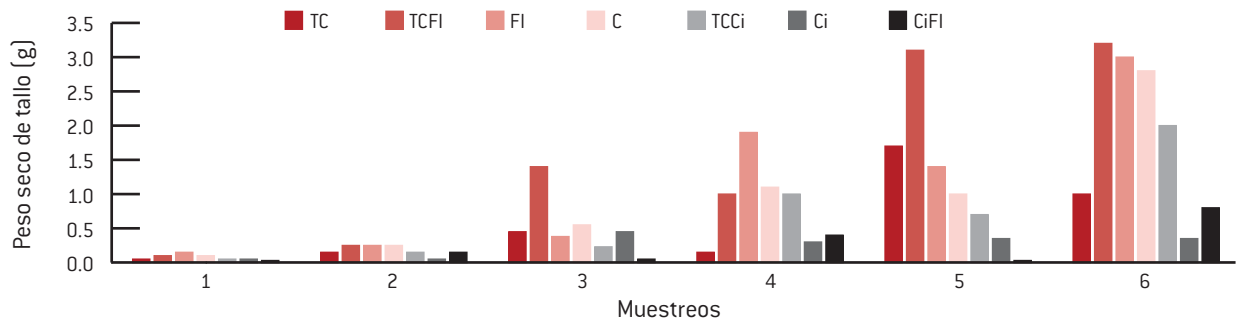


Figura 2. Valores promedio de peso seco de tallo de espinaca, obtenidos de seis muestreos semanales, a partir de los 26 días de la emergencia.

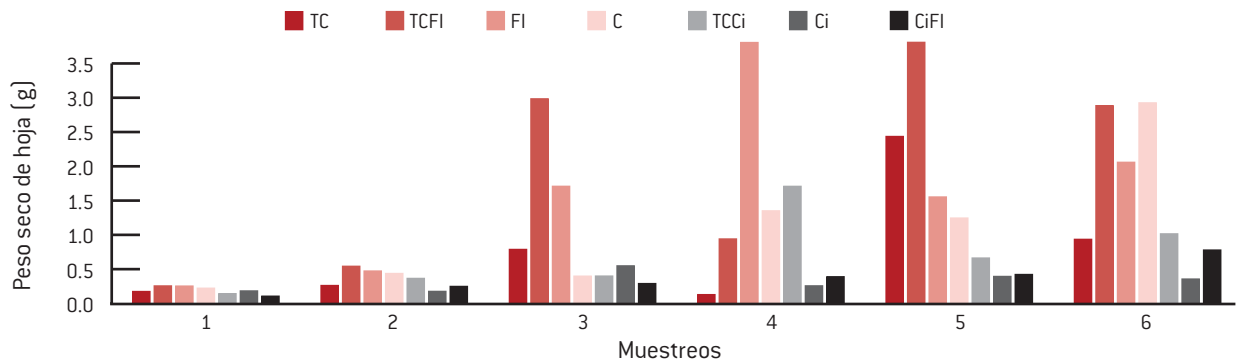


Figura 3. Valores promedio de peso seco de hoja de espinaca, obtenidos de seis muestreos semanales, a partir de los 26 días de emergencia.

Cuadro 3. Valores promedio de área foliar en espinaca.

Trata- miento	Área foliar (mm ²)											
	Muestras											
	1		2		3		4		5		6	
TC	77,2	AB	93,63	C	415,47	BC	62,31	B	696,59	B	227,64	CD
TCFI	78,41	AB	183	A	1032,87	A	463,75	B	1343,92	A	172,28	D
FI	97,71	A	160,27	AB	579,08	B	1415,62	A	463,16	BC	369,79	C
C	97,99	A	162,41	AB	213,93	BC	561,78	B	398,14	CD	902,09	A
TCCi	82,08	A	105,87	BC	167,2	C	658,32	B	278,1	CDE	838,2	A
Ci	76,5	AB	61,89	C	281,14	BC	104,47	B	128,18	E	549,07	B
CiFI	51,57	B	86,52	C	126,81	C	363,84	B	196,32	DE	186,89	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). TC= té de composta TCFI= té de composta + fertilización inorgánica, FI= fertilización inorgánica, C= control, TCCi= té de composta + coinoculación (*Azospirillum brasilense*/*Glomus intraradices*), Ci= coinoculación, Ci FI= coinoculación + fertilización inorgánica.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que el té de composta, en combinación con el fertilizante inorgánico (solución Steiner a 25% y 50%), exhibió el mejor desempeño para estimular el peso seco en raíz, tallo y hoja en la planta de espinaca en cinco de los seis muestreos semanales (26 a 54 días después de la emergencia), comparado con la aplicación de la coinoculación y el fertilizante inorgánico. En el caso del área foliar, la solución Steiner (fertilizante inorgánico) parece tener mejor efecto durante el estado vegetativo avanzado, cercano al comienzo de la floración. Sería de utilidad contar con más estudios para confirmar el efecto del té de composta en el crecimiento de los cultivos, para así permitir su empleo como una buena opción complementaria para la producción de hortalizas de hoja, ya que el fertilizante inorgánico es fuente de contaminación en suelo y planta.

LITERATURA CITADA

- ACUÑA, N. O., 2013. El uso de biofertilizantes en la agricultura. Laboratorio de Bioquímica de Procesos Orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas. pp. 2511-3062.
- AGUIRRE-MEDINA, J. F., A. Mendoza-López, J. Cadena-Iñiguez y C., Avendaño-Arrazate, 2007. La biofertilización del cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Ruiz et Döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. Interciencia. 32 (8):1-6.
- ALARCÓN A. y R. Ferrara, 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. Agricultura Técnica en México, 26(2):191-203.
- ALFONSO, T. E., A. Leyva y A. Hernández, 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). https://www.researchgate.net/publication/26851887_Microorganismos_beneficos_como_bio_fertilizantes_eficientes_para_el_cultivo_del_tomate_Lycopersicon_esculentum_Mill (10 de diciembre, 2017).

- ÁLVAREZ, S. E., M. C. Bonillo, M. F. Filippini y V. Lipinski. 2015. Efectos del té de compost, té de lombricomposto y supermagro en el contenido de nitrato, azúcares, ácido ascórbico y microorganismos asociados al cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) V Congreso Latinoamericano de Agroecología (7 al 9 de octubre de 2015), La Plata, Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/56509> (10 de diciembre, 2017).
- APRIL, R. y D. Keller, 1990. Mineralogy of the rhizosphere in forest soils of the eastern United States. *Biogeochemistry*. 9:1-18.
- AUGE, R. M. 2006. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science*. 84:373-381.
- BARRERA-BERDUGO, S. E., 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 7 (1):123-132.
- BARZEGAR, A. R., A. Yousefi y A. Daryashenas, 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil* 247:295-301.
- BURDMAN, S., Y. Okon y E. Jurkevitch, 2000. Surface characteristics of *Azospirillum brasilense* in relation to cell aggregation and attachment to plant roots. *Critical Reviews in Microbiology*.26(2):91-110.
- CAMELO, M., S. P. Vera y R. R. Bonilla. 2011. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 12(2):159-166.
- CASSAN, F., S. Maiale, O. Masciarelli, A. Vidal, V. Luna, y O. Ruiz., 2009. Cadaverine production by *Azospirillum brasilense* and its possible role in plant growth promotion and osmotic stress mitigation. *European Journal of Soil Biology* 45(1):12-19.
- COOK, R. J., 2000. Advances in plant health management in the twentieth century. *Annual Review of Phytopathology*. 38:95-116.
- DOBBELAERE, S., A. Croonenborghs, A. V., Broek y, J. Vanderleyden, 1999. Phytostimulatory effect of *Azospirillum brasilense* wild type and mutant strains altered in IAA production on wheat. *Plant and Soil*. 212(2):153-162.
- DUKARE, A. S., R. Prasanna, S. C. Dubey, L. Nain, V Chandhary, R. Singh, y A. K. Saxena, 2011. Evaluating novel amended composts as biocontrol agents in tomato. *Crop Protection*. 30(4):436-442.
- EDENBORN, S. L., L. M. Johnson, H. M. Edenborn, M. R. Albarrán-Jack, L. D. Demetron, 2018. Amendment of hardwood biochar with compost tea effects on plant growth, insect damage and the functional diversity of soil microbial communities. *Biological Agriculture and Horticulture*. 34(2):88-106.
- EDWARDS, C. A., N. Q. A. Arancon, S. Greytack, 2006. Effects of vermicompost teas on plant growth and disease. *Biocycle* 47:28.
- GARCÍA-OLIVARES, J. G., A. Mendoza-Herrera, N. Mayek-Pérez, 2012. Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y Ciencia*, 28(1):79-84.
- GEO, J. A., A. S. Nair y A. K. Vijayan, 2018. Association of *Glomus intraradices* in Sorghum Bicolor. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*. 4(1):003-006.
- GONZÁLEZ-SOLANO, K. D., M. M. N. Rodríguez-Mendoza, L. I. Trejo-Téllez, J. L. García- Cué y J. Sánchez-Escudero, 2013. Efluente y té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema NFT. *Inter-ciencia*. Caracas, Venezuela 38 (12): 863-869.
- HEGAZI, A. H. y A. M. Algharib, 2014. Utilizing compost tea as a nutrient amendment in open filed cowpea seed production system. *Journal of Biodiversity and Environmental*.
- INFOSTAT 2018. <http://www.infostat.com.ar//index.php?mod=pageandid=15.10> (5 de enero, 2019).
- INGHAM, E. 2005. *The Compost Tea Brewing Manual*. 5th Edition. Soil Foodweb Inc, Corvallis, Oregon. USA. p. 79.
- IRÍZAR-GARZA, M. B., P. Vargas-Vázquez, D. Garza-García, C. Tut, I. Rojas-Martínez, A. Trujillo-Campos, R. García-Silva, D. Aguirre-Montoya, J.C. Martínez-González y S. Alvarado-Mendoza, 2003. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica en México*. 29(2): 213-225.
- KIM, M. J., C. K. Shim, Y. K. Kim, S. J. Hong, J. H. Park, E. J. Han, J. H. Kim y S. C. Kim, 2015. Effect of Aerated Compost Tea on the Growth Promotion of Lettuce, Soybean, and Sweet Corn in Organic Cultivation. *Organic Agriculture Division, National Academy of Agricultural Science*. 31(3): 259-268.
- LEVANONY, H., y Y. Bashan, 1991. Active attachment of *Azospirillum brasilense*, to root surface of non-cereal plants and to sand particles. *Plant Soil*. 137: 91-97.
- LIRA-SALDIVAR, R. H., A. Hernández, L. A. Valdez, A. Cárdenas, L. Ibarra, M. Hernández y N. Ruiz, 2014. *Azospirillum brasilense* and *Glomus intraradices* co-inoculation stimulates growth and yield of cherry tomato under shadehouse conditions. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*. 83(1):133-13.
- LUNA-QUECAÑO, J. C., J. G. Zapana-Pari, A. M. Culipa-Limache, y N. Florida-Rafur, 2020. Efecto de la micorriza (*Glomus intraradices*), en el rendimiento de dos varie-

- dades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Altiplano de Puno, Perú. *Revista de Investigaciones*. 2 (1):58-67.
- MAHANTI, T. S., M. Battacharjee, M. Goswami, P. Bhattacharyy, B. Das, A. Gosh y P. Tribedi, 2017. Biofertilizers: a potencial approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research* 24(4): 3315-3335.
- MARTÍNEZ, C. C., L. C. Romero y L. F. Trinidad 2001. Lombricultura y abonos orgánicos. Memorias III curso teorico-practico. Lombricultura tecnica mexicana. SOMOLAO. Guadalajara, Jal. Del. 8:11-12.
- MONCAYO-LUJÁN, M. D. R., V. D. P., G. Álvarez-Reyna, L. González-Cervantes, L. Salas-Pérez, y J. A. Chávez-Simental, 2015. Producción orgánica de albahaca en invernadero en Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*. 33(1):69-77.
- OCHOA-MARTÍNEZ, E., U. Figueroa-Viramontes, P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Reséndez y N. Rodríguez-Dimas, 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 15(3):245-250.
- OKON, Y., y C. A. Labandera-González, 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biology and Biochemistry*. 26(12):1591-1601.
- PANE, C., A. M. Palese, G. Celano, y M. Zaccardelli, 2014. Effects of compost tea treatments on productivity of lettuce and kohlrabi systems under organic cropping management. *Italian Journal of Agronomy*. 9(3): 153-156.
- PERRIG, D., M. L. Boiero, O. A. Masciarelli, C. Penna, O. A. Ruiz, F. D. Cassán, y M. V. Luna, 2007. Plant-growth-promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and implications for inoculant formulation. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 75(5):1143-1150.
- RESTREPO, J. M., J. Gómez y R. Escobar, 2014. Utilización de los residuos orgánicos en la Agricultura. FIDAR-Fundación para la Investigación y Desarrollo Agrícola, Cali, Colombia. 7-37.
- ROMÁN, P., M. M. Martínez, y A. Pantoja, 2013. Manual de compostaje del agricultor Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile. 112 pp.
- SÁNCHEZ de la Cruz, R., A. Díaz-Franco, V. Pecina-Quintero, I. Garza-Cano y J. Loera-Gallardo, 2008. *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en maíz, bajo 2 regímenes de humedad en el suelo. Nota Técnica. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP, México. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792008000300008 (12 de marzo, 2018).
- SILVA-ARROYAVE, S. M. y R. F. J. Correa-Restrepo, 2009. Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica. Universidad de Medellín Medellín, Colombia. 12(23):13-34.
- STEINER, A. A., 1984. The universal nutrient solution. In 6. International Congress on Soilless Culture, Lunteren (Netherlands) 29 Apr-5 May 1984. ISOSC. <http://agris.fao.org/agris-earch/search.do?recordID=%20XE8581917>. (7 de febrero, 2018).
- TIEN, T. M., M. H. Gaskins y D. H. Hubell, 1979. Plant Growth Substances produced by *Azospirillum brasilense* and their Effect on the Growth of Pearl Millet (*Pennisetum americanum* L.). *Applied Environmental Microbiology*. 37 (5):1016-1024.
- VÁZQUEZ-VÁZQUEZ, P., M. Z. García-López, R. Navarro-Gómez y D. García-Hernández, 2015. Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 36:1351-1356.
- VENEGAS-GONZÁLEZ, J., C. J. Lenom, S. A. Trinidad, R. F. Gavi, y G. P. Sánchez. 2005. Análisis químico de compost y efecto de su adición sobre la producción de biomasa en zarzamora. *Terra Latinoamericana*. Chapingo, México. 23 (3):285-292.
- VIERHEILIG, H., 2004. Regulatory mechanisms during the plant arbuscular mycorrhizal fungus interaction. *Canadian Journal of Botany*. 82(8):1166-1176.
- VILLA-CASTRO, L., N. Mayek-Pérez, J. G. García-Olivares y J. L. Hernández Mendoza, 2014. Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum* sp. *Avances de Investigación Agropecuaria* 18(1):33-38
- WALKER, V., O. Couillerot, A. Von Felten, F. Bellvert, J. Jansa, M. Maurhofer, R. Bally, Y. Moënné-Loccoz, y G. Comte, 2012. Variation of secondary metabolite levels in maize seedling roots induced by inoculation with *Azospirillum*, *Pseudomonas* and *Glomus* consortium under field conditions. *Plant and Soil*. 356(1-2):151-163.
- ZACCARDELLI, M., C. Pane, D. Villecco, A. M. Palese, y G. Celano. 2018. Compost tea spraying increases yield performance of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in greenhouse under organic farming system. *Italian Journal of Agronomy*. 13(3):229-234.

Uso y aplicación de los sistemas de información geográfica en prácticas de ingeniería agrícola

Use and application of geographic information systems in agricultural engineering practices



G. Demuner-Molina*¹

¹Departamento de Maquinaria Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Teléfonos: 844-4110323 y 844-4110224. Email: genaro.demuner@uaaan.mx y gdemuner@gmail.com [*Autor responsable]

RESUMEN

La creciente demanda en el campo agrícola de sistemas tecnificados para la preparación de suelos, manejo de cultivos y sistemas de riego, requiere que los egresados de las instituciones de educación superior tengan el conocimiento técnico del uso y manejo de paquetes computacionales y equipos que utilicen información de los sistemas satelitales para realizar las labores que así lo requieran. Con este propósito, a los alumnos que cursan la asignatura de Ingeniería Agrícola en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) se les da a conocer de manera práctica y teórica el uso de herramientas tales como la utilización del paquete GS+ para la creación de ambientes o mapas del terreno basados en muestreos de campo de las variables que se requieran analizar: densidad aparente, humedad, resistencia a la penetración, alturas, además de otras, y la utilización de los equipos manuales GPS y el análisis estadístico de datos para interpretar los resultados obtenidos. Mediante la integración de estos elementos se pretende reducir los tiempos de trabajo en campo y obtener información que pueda ser útil en la toma de decisiones de los proyectos que se estén realizando o se vayan a realizar en el futuro.

Palabras clave: sistemas tecnificados, sistemas satelitales, Ingeniería Agrícola, paquete GS+, equipos GPS.

ABSTRACT

The growing demand in the agricultural field of technical systems for soil preparation, crop management or irrigation systems requires that graduates of higher education institutions have the technical knowledge of the use and management of computer packages and equipment that use information from satellite systems to carry out the tasks entrusted. That is why students who take the subject of Agricultural Engineering at the Antonio Narro Autonomous Agricultural University are made known in a practical and theoretical way the use of these tools such as the use of the GS+ package for the creation of environments or field maps based on field sampling of the variables that are required to be analyzed (apparent density, humidity, penetration resistance, heights, etc.), the use of GPS manual equipment and statistical analysis of data to interpret the results obtained. The integration of these elements aims to reduce working times in the field and obtain information that can be useful in the decision-making of the projects that are being carried out or will be carried out in the future.

Key words: Technified systems, satellite systems, Agricultural Engineering, GS+ package, GPS equipment.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería agrícola es aquella en la que se aplica la ciencia y tecnología en los ámbitos de las explotaciones agrícolas y ganaderas, tanto extensivas como intensivas; en la industria agroalimentaria, el desarrollo de maquinaria, motores y tecnología agrícola, y en la jardinería y paisajismo, siempre procurando las mejores condiciones sociales, económicas, ecológicas y el cuidado del medio ambiente (Elu, 2015).

Olmo (2015) menciona que actualmente en México existen dos tipos de agricultura: la intensiva, alto consumo energético –se concentra en el norte del país–, que utiliza una alta cantidad de maquinaria agrícola, sistemas de riego tecnificado, fertilizantes y plaguicidas, y abarca entre 30 y 40% del territorio nacional; la otra, de bajo consumo energético (agricultura tradicional), que se ubica en el sur del país, poco tecnificada, que no utiliza las tecnologías mencionadas. Ante esta situación, los especialistas en ingeniería agrícola tienen la importante responsabilidad de homologar y modernizar los sistemas agrícolas, en particular los que no cuentan con la tecnología adecuada, que suman en el país hasta 70%; pero algo aún más importante es la imperiosa necesidad de desarrollar nuevas tecnologías que permitan sustituir las existentes, de las cuales muchas son altamente ineficientes.

La utilización de herramientas y sistemas de información geográfica aplicados a la ingeniería agrícola

la son de suma importancia para la realización de trabajos en campo para grandes extensiones de terreno. Los sistemas de posicionamiento global (GPS) son sistemas compuestos por grupos de satélites en órbita que funcionan continuamente en cualquier parte del mundo, y proporcionan automáticamente una posición (latitud y longitud) en la tierra (Rey, 2006).

En años previos a la utilización de estas tecnologías, realizar levantamientos topográficos conllevaba a una ardua tarea en la que se invertían mucho tiempo y recursos. Pachas (2009) menciona que actualmente, con los equipos manuales de GPS y estaciones totales, se logra un proceso de captura, almacenamiento, cálculo y transmisión de datos de campo, asimismo como su representación gráfica, con lo que se logra obtener un producto final con mayor precisión y rapidez en el desarrollo de proyectos, tales como: urbanismo, carreteras, puentes, obras hidráulicas, agricultura, acueductos, riego y drenaje, entre otros.

El presente documento resume algunos usos de sistemas GPS y *software* aplicados en las prácticas de la asignatura de Ingeniería agrícola que se ofrece a los alumnos de licenciatura de la UAAAN.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología que se utilizó para los muestreos realizados dentro del predio establecido, se basa en una técnica de muestreo aleatorio, descrita por Casal



Figura 1. Material utilizado en prácticas.

y Mateu (2003), el cual puede realizarse de diferentes maneras. Se presentan tres prácticas efectuadas durante el curso, en las que se recolectaron datos de las siguientes variables: la densidad aparente (D_a) –para ésta se utilizó el método del extractor de núcleos– y el contenido de humedad (P_w) (Recio, 2009); ambas

variables se tomaron a una profundidad de 15 cm, para así obtener mapas del terreno en 2D. Para determinar las alturas, con la metodología descrita por Sánchez y Martínez (1997), se obtuvieron datos en una ladera, para posteriormente trazar las curvas a nivel respectivas y obtener un modelo gráfico en 3D

Cuadro 1. Datos de densidad aparente.

D_a (g/cm ³)	Coordenada Norte	Coordenada Este
0.98	2806124	14294688
1.26	2806133	14294699
0.92	2806135	14294710
1.03	2806140	14294697
0.95	2806142	14294685
0.80	2806142	14294674
0.92	2806151	14294679
0.82	2806167	14294680
1.15	2806168	14294666
1.00	2806171	14294653
1.03	2806203	14294659
1.02	2806197	14294641
0.84	2806209	14294627
0.94	2806213	14294633
1.08	2806226	14294645
1.05	2806244	14294636
0.92	2806232	14294620
0.83	2806240	14294608
0.97	2806268	14294613
0.96	2806279	14294591
1.26	2806301	14294594
1.01	2806293	14294578

Nota: Las coordenadas mostradas se encuentran en formato UTM.

Cuadro 2. Datos de contenido de humedad.

P_w (%)	Coordenada Norte	Coordenada Este
12.95	2806124	14294688
10.57	2806133	14294699
10.30	2806135	14294710
13.60	2806140	14294697
16.83	2806142	14294685
21.31	2806142	14294674
14.21	2806151	14294679
19.13	2806167	14294680
17.61	2806168	14294666
19.18	2806171	14294653
15.72	2806203	14294659
16.07	2806197	14294641
21.08	2806209	14294627
18.32	2806213	14294633
12.61	2806226	14294645
16.71	2806244	14294636
18.93	2806232	14294620
18.99	2806240	14294608
20.17	2806268	14294613
19.18	2806279	14294591
23.81	2806301	14294594
18.86	2806293	14294578

Nota: Las coordenadas mostradas se encuentran en formato UTM.

Figura 2. Mapa en 2D de la variable densidad aparente.

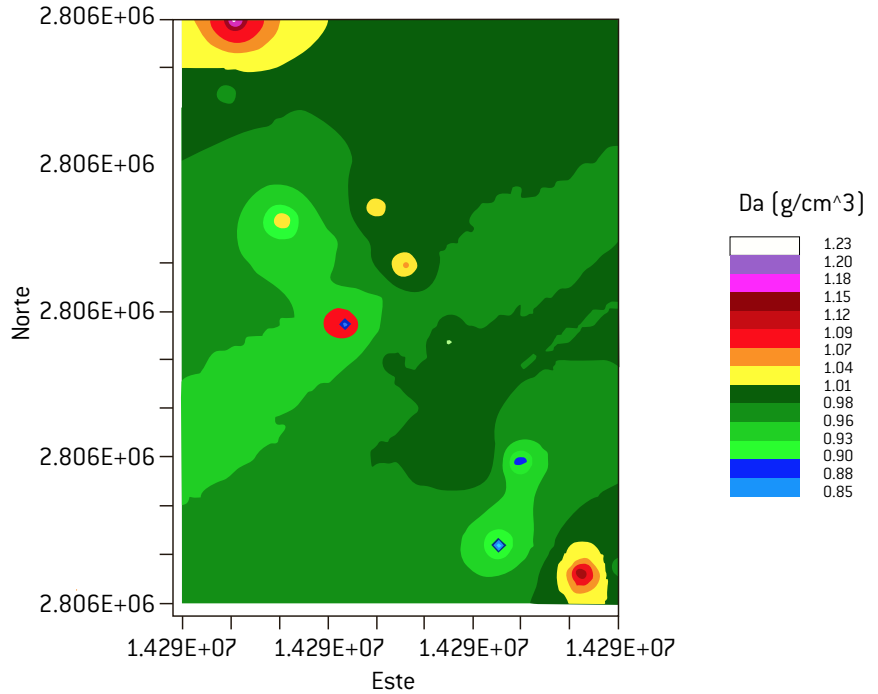
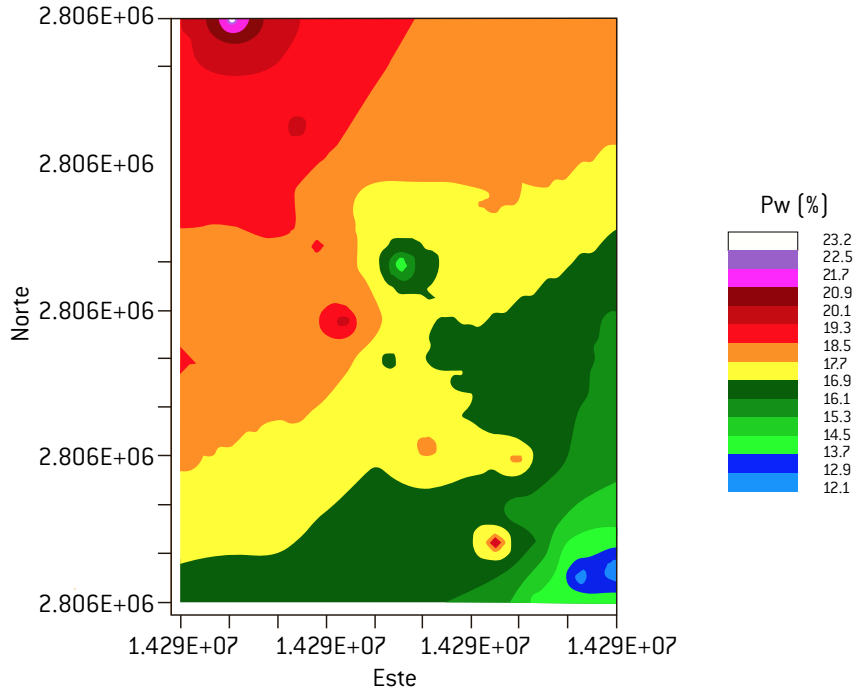


Figura 3. Mapa en 2D de la variable contenido de humedad.



del lugar muestreado. Todas las variables obtenidas en campo fueron georreferenciadas con coordenadas UTM. Los equipos que se utilizaron en estas prácticas fueron: un GPS portátil Magellan SportTrak PRO, un extractor de núcleos, balanza digital y estufa de

secado (Figura 1); también se utilizó el *software* GS+ versión 5.1.1 para la generación de los mapas 2D por medio de la interpolación IDW (Inverse Distance Weighting) y 3D, haciendo uso de la interpolación por medio del análisis de Kriging.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos que se presentan en el Cuadro 1, correspondientes a la variable de densidad aparente (D_a), se procesaron con la metodología citada, lo que dio como resultado el mapa en 2D que se muestra en la Figura 2.

El Cuadro 2 muestra los datos del contenido de humedad (P_w) calculados a partir de la metodología citada, los cuales se lograron utilizando el dato de humedad que se obtuvo por medio de la densidad aparente. De estos datos se genera el mapa en 2D, el cual se muestra en la Figura 3.

En ambos mapas se puede apreciar la distribución tanto de la densidad aparente como de la humedad en la sección de terreno muestreada, caracterizada por una banda de colores que señala en forma numérica los contenidos altos, medios y bajos de cada variable.

Para las variables densidad aparente (D_a) y contenido de humedad (P_w) como propiedades físicas del suelo, están completamente ligadas a problemas de compactación, tal como lo mencionan Becerra *et al.* (2005), quienes realizaron mapas de diferentes variables físicas del suelo con la ayuda de un *software* de sistemas de información geográfica para estimar las áreas en las que la densidad aparente y el contenido de humedad se presentan con mayor proporción.

El Cuadro 3 muestra los datos de alturas, para determinar de esta manera las curvas a nivel.

Para lograr la precisión de un modelo en 3D, Velásquez *et al.* (2004) mencionan que, para poder realizar el cálculo de áreas, elevaciones y desniveles, así como una buena colecta de datos (a mayor número de muestras mayor precisión), es indispensable considerar la geometría del producto y sus relaciones lógicas a partir de la planimetría derivada del control geodésico, del sistema de coordenadas y de las curvas a nivel; de esta manera se obtiene una buena representación entre el mundo real y el mundo digital.

CONCLUSIONES

La finalidad del curso es que los alumnos se familiaricen, de manera teórico-práctica, con la comprensión, análisis y estudio de los datos recopilados en campo a partir del uso de tecnologías aplicadas a la rama de su especialidad, ya que muchos de los equipos empleados en campo para monitorear cultivos, plagas, nutrición, preparación de tierras, riego, etcétera, están dotados de algún sistema satelital o *software*. La capacitación en el uso de este tipo de herramientas

Cuadro 3. Datos de alturas.

Altura (msnm)	Coordenada Norte	Coordenada Este
1776	294999	2805462
1777	295004	2805442
1781	295009	2805423
1787	295011	2805394
1783	295004	2805386
1783	294989	2805400
1785	294997	2805411
1785	294968	2805423
1785	294959	2805435
1785	294999	2805446
1783	294933	2805463
1781	294912	2805458
1784	294910	2805445
1786	294906	2805427
1788	294918	2805409
1788	294921	2805391
1788	294923	2805368
1788	294927	2805345
1788	294936	2805326
1788	294922	2805299
1788	294893	2805282
1785	294876	2805294
1785	294855	2805296
1788	294852	2805332

Nota: Las coordenadas mostradas se encuentran en formato UTM.

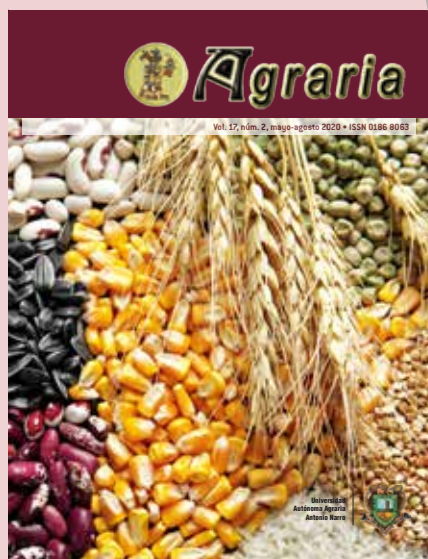
es esencial, ya que el alumno comienza a tener una visión amplia de cómo, cuándo, dónde y bajo qué circunstancia puede aplicarlas, de tal manera que realice su trabajo con mayor eficiencia y precisión, ahorre recursos y tome decisiones que beneficien su trabajo.

Con este tipo de cursos se pretende capacitar a los estudiantes para que hagan frente a las nuevas tecnologías, y vean su efectividad al aplicarlas en sistemas de alta producción.

LITERATURA CITADA

- BECERRA-M., C., E. Madero-M., O. Herrera-G., y E. Amézquita-A, 2005. Caracterización espacial de la compactación en terrenos agrícolas de CIAT, Colombia. *Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal Cienc. Geogr.* Jul/Dic 8(16), p. 33-37. Colombia.
- CASAL, J., y E., Mateu, 2003. Tipos de muestreos. *Rev. Epidem. Med. Prev.* 1:3-7. Barcelona.
- INGENIERÍA AGRÍCOLA. En: Enciclopedia Libre Universal (ELU) [en línea] [fecha de consulta: 3 agosto 2015]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_agr%C3%ADcola#cite_ref-1>.
- OLMO, A. Ingeniería Fantástica [en línea] Actualidad de la Ingeniería Agrícola en México, 2015 [fecha de consulta: 6 agosto 2015]. Disponible en: <<http://www.ingenieriafantastica.net/2012/03/actualidad-de-la-ingenieria-agricola-en.html>>.
- PACHAS-LINARES, R., 2009. El levantamiento topográfico: uso del GPS y estación total. *Academia* 8(16): p. 29-45. Venezuela. +
- RECIO DEL BOSQUE, P., 2009. Manual gráfico para prácticas de física de suelos. Departamento de Ciencias del Suelo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- REY, J. R., 2006. El sistema de posicionamiento global-GPS. Publicación del Departamento de Entomología y Nematología. Servicio de Extensión Cooperativa de Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de Florida. USA.
- SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, L., y W. Martínez-Díaz, 1997. Guía metodológica para la obtención de alturas sobre el nivel del mar utilizando el sistema GPS. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Colombia.
- VELÁSQUEZ, J., G. Ochoa, J. Oballos, J. Manrique y J. Santiago, 2004. Metodología para la delineación cartográfica de suelos. *Rev. For. Lat.* Vol. 36, p. 15-34. Venezuela.

PUBLICACIONES 2020



Agraria está indizada, desde 2006, en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal); en la base de datos PERIÓDICA (de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México); y en 2007 fue incluida en la base de datos del Centro Internacional de Investigación Científica (CIRS).



Universidad
Autónoma Agraria
Antonio Narro

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dirección de Investigación. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315,
Saltillo, Coah., México

E-mail: revista_agraria@uaaan.edu.mx

Tel. +52 (844) 411 02 12 y 411 02 80, ext. 2003. Fax +52 (844) 411 02 11



- 1** Biofortificación de fresa con selenio y su efecto sobre los macro y micronutrientes en el fruto
Biofortification of strawberry with selenium and its effect on macro and micronutrients in the fruit
L. O. Fuentes-Lara; W. A. Narváez-Ortiz; A. Morelos Moreno; S. González-Morales; A. Juárez-Maldonado; M. Cabrera de la Fuente; A. Benavides-Mendoza

- 7** Uso potencial de las microondas para el secado de productos agrícolas
Potential use of microwaves for drying agricultural products
Adrián Flores-Ortega, Gerardo Martínez-Soto, Elizabeth González-Rincón, Noé Saldaña-Robles, Ryszard Serwatowski, César Gutiérrez-Vaca

- 13** Evaluación de efectos del té de composta, la coinoculación y la fertilización inorgánica en la estimulación del crecimiento en espinaca (*Spinacia oleracea* L.) bajo condiciones de invernadero
Evaluation of effects of compost tea, coinoculation and inorganic fertilization on growth promotion in spinach [*Spinacia oleracea* L.], under greenhouse conditions
Silvia Yudith Martínez-Amador, Laura Adriana Mata-Hernández, Laura María González-Méndez, Alonso Méndez-López, Aída Isabel Leal-Robles

- 23** Uso y aplicación de los sistemas de información geográfica en prácticas de ingeniería agrícola
Use and application of geographic information systems in agricultural engineering practices
G. Demuner-Molina

Agraria es una publicación cuatrimestral de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, creada para difundir resultados de investigación nacionales e internacionales, originales e inéditos, escritos en español e inglés, sobre temas relacionados con las ciencias agrícolas, pecuarias y forestales, incluyendo las áreas de ingeniería, agro industria, biotecnología y socioeconómicas. Estos materiales pueden ser artículos científicos, notas de investigación o ensayos científico. Los materiales que se envíen para su publicación deberán ceñirse a las normas editoriales y estarán sujetos a estricta revisión por pares, como requisito previo a su publicación.

