

Áreas para producción de semilla de trigo en Valles Altos Centrales de México

Erik Acuayte-Valdés¹
Sergio Sandoval-Islas¹
Aquiles Carballo-Carballo¹
Eduardo Villaseñor-Mir²
Santos Gerardo Leyva-Mir³
Mateo Vargas-Hernández³

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillos. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillos, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (acuaytevaldez@gmail.com; aquiles.carballo@gmail.com).

²Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera los Reyes-Texcoco, km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (villasenor.hector@inifap.gob.mx). ³Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (lsantos@correo.chapingo.mx; vargas.mateo@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: sandoval@colpos.mx.

Resumen

La zonificación agro-ecológica permitió definir localidades con aptitud para el establecimiento del cultivo de trigo, así como las áreas que presentan condiciones no favorables para el desarrollo de la enfermedad tizón de la espiga por *Fusarium* sp. (TEF) la cual ocasiona reducción del peso en los granos y contaminación por micotoxinas, entre las que se encuentra el deoxinivalenol (DON). En general, la producción agrícola es determinada por las combinaciones de clima y suelo. Para el trigo se consideró como temperatura óptima 15 a 23 °C, precipitación 750 a 900 mm, y altitud 4 500 msnm, TEF depende principalmente de la interacción de los factores climáticos y genotipo. Los umbrales climáticos considerados fueron los reportados para intensificar el índice relativo de la enfermedad: temperatura mínima mayor de 11 °C, temperatura media mayor de 16.5 °C, oscilación térmica menor a 13.4 °C y precipitación pluvial mayor de 30 mm. Se delimitaron geográfica y cuantitativamente áreas potenciales considerando los criterios que definen lugares y superficies climáticamente aptas para el cultivo del trigo de temporal (mayo a octubre) y no aptas para la TEF haciendo una discriminación de las zonas urbanas y de otro uso que no sea el agrícola, por lo tanto el mapa generado se puede utilizar como herramienta de planeación para el establecimiento del cultivo del trigo, extensión de áreas y renovación de plantaciones para la producción de semilla en los Valles Altos Centrales de México.

Palabras clave: *Fusarium* sp., agrometeorología, deoxinivalenol, tizón de la espiga, zonificación.

Recibido: abril de 2018

Aceptado: junio de 2018

Introducción

Los cereales siguen siendo la fuente de alimentos más importante del mundo, tanto para el consumo humano directo como, de una manera indirecta, para los insumos de la producción pecuaria. La tarea de producción que tiene ante sí la agricultura mundial es impresionante, para el año 2030, se necesitarán mil millones de toneladas más de cereales cada año (FAO, 2016). Después del maíz y el frijol, el trigo es una de las tres fuentes más importantes de nutrientes de bajo costo en la dieta del mexicano, tanto el cultivo como su procesamiento y consumo, generan una importante derrama económica y un gran número de empleos (Peña *et al.*, 2008).

Las primeras plantaciones de trigo en México se establecieron en 1865 en los Valles de Atlixco y San Martín, Toluca y el Valle de México, el Bajío de Guanajuato y Morelia-Fernández *et al.*, (1934), los cuales actualmente cubren una superficie total de 1 598 ha (SIAP, 2015). La expansión geográfica de las áreas de producción no ha considerado los requerimientos de la planta en cuanto a clima y suelo para asegurar el éxito del cultivo, en Valles Altos éstas se ubican en estratos altitudinales que oscilan entre los 2 200 y 2 600 msnm, rango que incluye diversos tipos de clima, que se refleja en una heterogeneidad en el comportamiento fenológico, en la producción y en la condición de riesgo a que se somete el cultivo. De acuerdo al SIAP (2014) México obtuvo una producción mayor a 3 669 000 t en condiciones de riego y temporal, la mayor proporción de trigo de temporal que se cultiva en el ciclo de verano se concentra en cinco de veinte estados. En el ciclo 2014 los estados de Tlaxcala, Zacatecas, Nuevo León, Guanajuato y Estado de México produjeron aproximadamente 191 mil t, equivalentes a 80% del volumen cosechado en este ciclo (SIAP, 2014).

El rendimiento potencial de trigo está condicionado principalmente por las variaciones climáticas, específicamente por la radiación incidente y la temperatura media durante el periodo previo a la floración (Magrin y Travasso 1997). Debido al carbón parcial del trigo (*Tilletia indica*) (Brennan *et al.*, 1990), la producción de semilla ha tenido serias restricciones; sin embargo, existe otra enfermedad importante en las zonas templadas y semitropicales (Ireta *et al.*, 1989) como es el caso del tizón de la espiga por *Fusarium* sp. (TEF), causando la reducción del peso en los granos y por consecuencia disminuyendo el rendimiento (Goswami y Kisler, 2004; Nicholson *et al.*, 2007) y propiciando contaminación en los granos por la presencia de micotoxinas, entre las que se encuentra el deoxinivalenol (DON) (Miller *et al.*, 2001; Sip *et al.*, 2007).

El desarrollo del TEF depende principalmente de la interacción de las condiciones climáticas y factores como genotipo, fertilización, fecha de siembra, entre otros (Velázquez *et al.*, 2012). De acuerdo a Flores *et al.* (2007) las variables de temperatura mínima, temperatura media, oscilación térmica y precipitación pluvial mostraron una alta correlación con el índice relativo de la enfermedad (IRE), en el periodo de emergencia de la espiga hasta la floración a la base de la espiga, o estados de desarrollo fenológico del 59 al 83 de acuerdo a la escala de Zadoks (Zadoks, 1974). Los valores críticos de los elementos del clima para intensificar el IRE fueron: temperatura mínima mayor de 11 °C, temperatura media mayor de 16.5 °C, oscilación térmica menor a 13.4 °C y precipitación pluvial mayor de 30 mm.

La zonificación agro-ecológica (ZAE) define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas similares relacionadas con la aptitud de tierras, la producción potencial y el impacto ambiental. La suma de otras capas de información, tales

como la tenencia y disponibilidad de la tierra, los requisitos nutricionales de las poblaciones humana y ganadera, las infraestructuras, costos y precios, ha hecho posible el desarrollo de aplicaciones más avanzadas en el análisis de los recursos naturales y la planificación de usos de tierras (FAO, 1994).

Un estudio realizado por CIMMYT (2008) delimitó las zonas potenciales para la producción de trigo en México; sin embargo, no considera las características climáticas que favorecen el TEF, ni el uso del suelo. El objetivo del presente trabajo, fue delimitar geográfica y cuantitativamente áreas potenciales tomando en cuenta los criterios que definen lugares y superficies climáticamente aptas para el cultivo del trigo de temporal (mayo-octubre) y no aptas para el TEF, haciendo una discriminación de las zonas urbanas y de otro uso que no sea el agrícola; por lo tanto, el mapa generado se puede utilizar como herramienta de planeación para el establecimiento del cultivo del trigo, extensión de áreas y renovación de plantaciones para la producción e incremento de semilla en Valles Altos de México.

Materiales y métodos

Con los requerimientos climáticos del cultivo de trigo (*Triticum durum*) se cartografió las zonas óptimas para su establecimiento, zonas para incrementar y producir semillas de calidad considerando las condiciones climáticas requeridas para el desarrollo del patógeno (*Fusarium*) en la región de Valles Altos Centrales comprendida en los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala; presenta elevaciones entre 90 a 4 200 msnm, con una precipitación del mes de mayo a octubre de 260-2 500 mm y una temperatura media de 5 a 28 °C, con una superficie de 81 612.95 km². Las variables evaluadas son: temperatura promedio y precipitación acumulada del mes de mayo a octubre y altitud de la región.

De acuerdo a FAO (1997) la producción agrícola es determinada por las combinaciones similares de clima y características del suelo, en el Cuadro 1 se indican las condiciones climáticas apropiadas para el establecimiento y obtención de un rendimiento óptimo del trigo. Existen factores bióticos o abióticos que reducen el rendimiento y calidad del grano, como es el caso de la enfermedad tizón de la espiga ocasionado por *Fusarium graminearum* que se presenta durante el periodo de floración en condiciones templado húmedo (Flores *et al.*, 2007). Los requerimientos para que se presente la enfermedad se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Requerimientos climáticos del trigo.

Condición	Optima	Absoluta
Temperatura (°C)	15-23	5-27
Precipitación (mm)	750-900	300-1 600
Altitud (msnm)	-	4 500

Fuente: Ecocrop (2015).

Cuadro 2. Requerimientos climáticos de *Fusarium graminearum*.

Condición	Optima
Temperatura mínima (°C)	11
Temperatura media (°C)	16.5
Oscilación térmica (°C)	750-900
Precipitación (mm)	30

Fuente: Flores *et al.* (2007).

Para la cartografía se utilizó la base de datos obtenida del ERIC III (extractor rápido de información climática, IMTA 2009) de 531 estaciones ubicadas dentro del área de estudio y 66 estaciones alrededor de la zona de estudio. Las variables analizadas fueron: precipitación y temperatura media durante el periodo de mayo a octubre; además de considerar la altitud de la región. En el Cuadro 3 se presentan los rangos de la altitud, precipitación y temperatura media por entidad federativa.

Cuadro 3. Altitud, precipitación y temperatura media por estado.

Estado	Número de estaciones	Altitud (msnm)		Precipitación (mm)		Temperatura media (°C)	
		Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
Hidalgo	112	130	2 916	262	2 065	12	28
Estado de México	242	580	4 283	405	4 487	5	28
Puebla	136	91	3 393	281	2 911	9	28
Tlaxcala	41	2 215	2 907	379	978	11	18

Fuente: ERICIII.

Para la elaboración de la cartografía se empleó el programa ArcMap GIS 10.2 (sistema que permite recopilar, organizar, analizar y distribuir información geográfica) con el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighting: método de distancia inversa) el cual es empleado en la representación de variables con continuidad espacial ya que no cambia el rango de los valores en los puntos de muestra (Siabato y Yudego, 2004; Pineda y Suárez, 2014).

En la determinación del intervalo y número de clases de cada una de los mapas, se utilizó el método propuesto por Law *et al.* (2009), el cual consiste en tomar en cuenta la media y desviación estándar de los valores del mapa para determinar las clases.

Resultados y discusión

Del mapa elaborado, se obtuvo como resultado que en el área de estudio las condiciones que se encuentran para el establecimiento del cultivo son: marginalmente apto (mA), apto (A) y muy apto (MA) (Figura 1). En lo que respecta a la clasificación del índice relativo de la enfermedad (IRE) en presentación cartográfica, se obtuvo que las condiciones climáticas del área de estudio lo dividen en: No apta (NA), mA, A y MA (Figura 2).

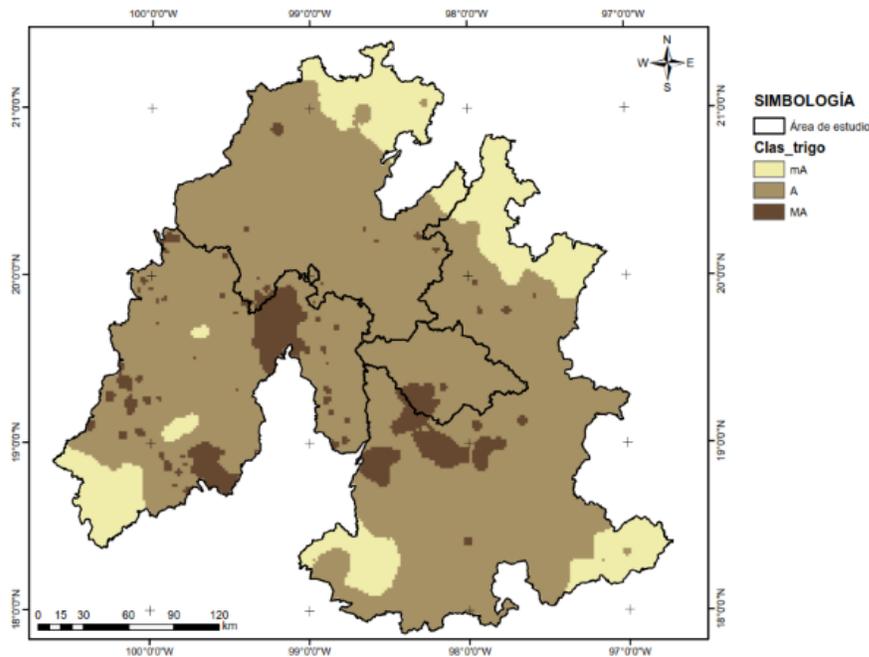


Figura 1. Clasificación de áreas por requerimientos climáticos para el establecimiento del trigo.

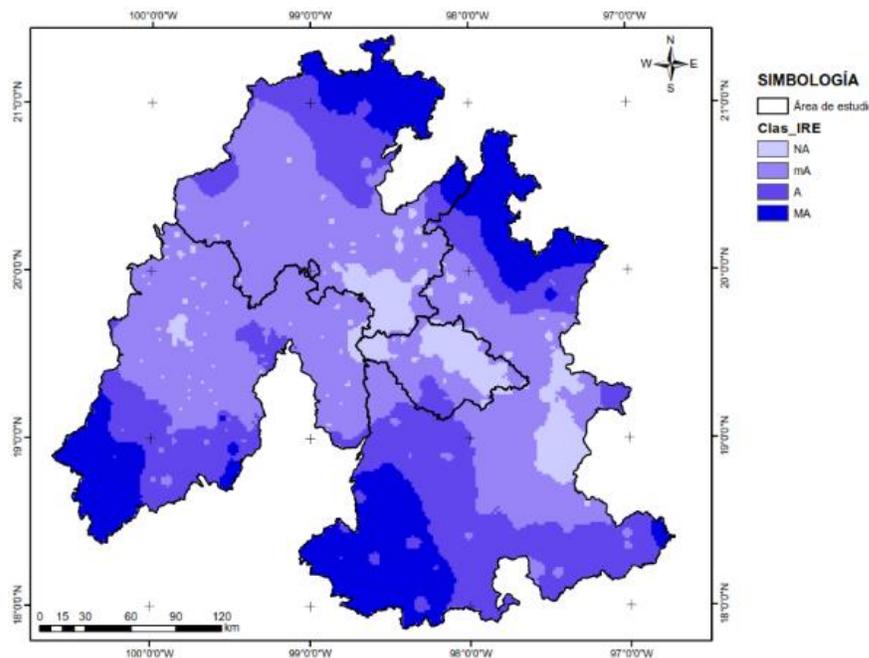


Figura 2. Clasificación del índice relativo de la enfermedad (IRE).

La combinación de los mapas de clasificación del trigo y del IRE permitió identificar las zonas potenciales para el incremento de la producción de semilla de calidad (genética, física, fisiológica y sanitaria) del cultivo (Figura 3).

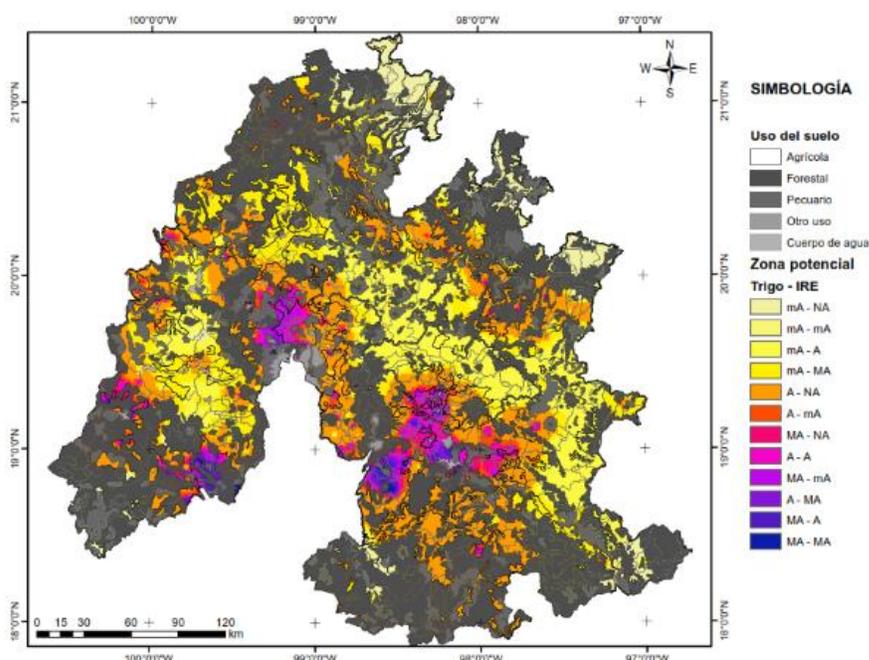


Figura 3. Zonificación de Valles Altos Centrales de acuerdo al requerimiento climático del trigo y el IRE.

Es necesario considerar, que las variedades para siembras de temporal son un componente tecnológico importante para el productor, ya que estas deben reunir ciertas características agronómicas y fitopatológicas que les permitan lograr una buena cosecha, ante una problemática biótica y abiótica (Villaseñor y Moreno, 1998).

Las mejores zonas son aquellas que son muy aptas para el cultivo y que no tienen un IRE alto, como es el caso de Tepetitla, Nativitas, Santa Isabel y Tepeyanco. El mapa final fue generado para condiciones de temporal, con la temperatura media promedio y precipitación acumulada durante los meses de mayo a octubre obtenidas de las normales climatológicas. Se estimó el área para cada tipo de uso del suelo en la región de los Valles Altos Centrales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estimación de área de acuerdo al uso de suelo en Valles Altos Centrales.

Uso de suelo	Área (km ²)
Agrícola	37 370.03
Cuerpo de agua	35 429.01
Forestal	8 074.87
Otro uso	565.4
Pecuario	173.64
Total	81 612.95

El Cuadro 5 muestra los municipios y la clasificación asignada de acuerdo a las condiciones ambientales óptimas o no aptas, para el cultivo y el patógeno.

Cuadro 5. Municipios clasificados de acuerdo a condiciones ambientales para producción de trigo.

Municipio	Clasificación trigo/IRE	Área (ha)
Huejutla de reyes (Hgo.)	mA - A	31 868.28
San Felipe Orizatlan (Hgo.)	mA - A	24 318.59
Atlapexco (Hgo.)	mA - A	14 629.86
Chiautla (Pue.)	mA - A	12 801.1
Ayotoxco de Guerrero (Pue.)	mA - A	11 332.94
Francisco Z. Mena (Pue.)	mA - A	11 236.79
Hueytamalco (Pue.)	mA - A	11 228.1
Tepehuacan de Guerrero (Hgo.)	mA- mA	4 939.44
Jocotitlan (Mex.)	mA- mA	3 830.49
Chiautla (Pue.)	mA- mA	3 453.51
Calnali (Hgo.)	mA- mA	2 694.66
Zinacatepec (Pue.)	mA- mA	2 336
Tianguistengo (Hgo.)	mA- mA	2 090.08
Huehuetla (Hgo.)	mA- mA	1 871.16
Tlaxco (Tlax.)	mA - A	46 380.32
Chalchicomula de Sesma (Pue.)	mA - A	32 996.45
Apan (Hgo.)	mA - A	27 183.59
Chignahuapan (Pue.)	mA - A	24 954.17
Palmar de Bravo (Pue.)	mA - A	24 634.55
Tepeyahualco (Pue.)	mA - A	24 106.27
Huamantla (Tlax.)	mA - A	23 758.41
Atizapan de Zaragoza (Mex.)	MA - A	230.1
Acuamanala de Miguel Hidalgo (Tlax.)	MA - A	47.7
Tochimilco (Pue.)	MA - A	4 346.12
Villa guerrero (Mex.)	MA - A	4 087.69
Atzitzihuacan (Pue.)	MA - A	3 526.71
Atlixco (Pue.)	MA - A	3 127.63
Puebla (Pue.)	MA - A	2 786.03
Huaquechula (Pue.)	MA - MA	1 708.76
Malinalco (Mex.)	MA - MA	634.2
Zumpahuacan (Mex.)	MA - MA	15.32

Municipio	Clasificación trigo/IRE	Área (ha)
Hueyotlipan (Tlax.)	A - NA	3 822.59
Muñoz de Domingo Arenas (Tlax.)	A - NA	1 445.18
San Lucas Tecopilco (Tlax.)	A - NA	482.32
Españita (Tlax.)	A - NA	6 004.71
Apizaco (Tlax.)	A - NA	1 449.91
Xaltocan (Tlax.)	A - NA	7 454.25
Yauhquemehcan (Tlax.)	A - NA	3 035.39
Apizaco (Tlax.)	A - mA	157.21
Xaltocan (Tlax.)	A - mA	45.33
Ixtacuixtla de Mariano Matamoros (Tlax.)	A - mA	3 003.06
Panotla (Tlax.)	A - mA	1 171.66
Santa Cruz Tlaxcala (Tlax.)	A - mA	157.84
Apetatitlan de Antonio Carvajal (Tlax.)	A - mA	529.48
Tlaxcala (Tlax.)	A - mA	363.21
Tepetitla de Lardizabal (Tlax.)	MA - NA	522.35
Nativitas (Tlax.)	MA - NA	697.4
Santa Isabel Xiloxotla (Tlax.)	MA - NA	108.55
Tepeyanco (Tlax.)	MA - NA	185.04
Teolocholco (Tlax.)	MA - NA	3.21
Acuamanala de Miguel Hidalgo (Tlax.)	MA - NA	306.81
Santa Cruz Quilehtla (Tlax.)	MA - NA	97.65

De acuerdo a la Figura 3, el estado con mejores características para producción del cultivo y producción de semilla es Tlaxcala en los municipios de Nativitas, Tepetitla y Acuamanala. Los municipios menos apropiados son: Huejutla, Francisco Z. Mena y Hueytamalco. Es importante mencionar, que algunos municipios pueden tener más de una clasificación esto debido a sus características fisiográficas y climáticas.

Conclusiones

Los sistemas de información geográfica (SIG), permitieron determinar las zonas óptimas de producción para el trigo e incremento de semilla, con el menor daño potencial por tizón de la espiga, considerando los usos del suelo.

De acuerdo con la zonificación, la parte norte de la región de los Valles Altos Centrales es un área favorable para el desarrollo de *Fusarium* sp. y marginalmente apta para el establecimiento del trigo; en contraste la parte central es marginalmente apta para el desarrollo de *Fusarium* sp. pero apta para el establecimiento del cultivo, teniendo como resultado la mejor área para lograr mayor producción y obtener semilla de buena calidad.

Literatura citada

- Brennan, J. P.; Warham, J. E.; Hernández, J. y Byerlee, D. y Coronel, F. 1990. Perdidas económicas ocasionadas por el carbón parcial del trigo en México. Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México, D. F. 56 p.
- CIMMYT. 2008. Laboratorio de sistemas de Información Geográfica. Zonas potenciales de cultivo de trigo. www.conabio.gob.mx.
- Ecocrop. 2015. Ecocrop database. FAO, Rome, Italy.
- FAO. 1994. AEZ in Asia. Proceedings of the regional workshop on agro-ecological zones methodology and applications. Bangkok, Thailand, November 1991. World Soil Resources Report 75. Rome, Italy. 17-23 pp.
- FAO. 1997. Zonificación agro-ecológica (guía general). Boletín de suelos de la FAO núm. 73.
- FAO. 2016. Agricultura mundial: hacia los años 2015-2030.
- Fernández, R. y Fernández, X. 1934. La historia del trigo. Revista Crisol.
- Flores, L. H. E.; Ireta, M. J. y Ruíz, C. J. A. 2007. Factores meteorológicos asociados al tizón de la espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) en trigo (*Triticum aestivum* L.). Rev. Méx. Fitopatol. 25(2).
- Goswami, R. S. and Kistler, H.C. 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. Molecular Plant Pathology. 5:515-525. <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s08.htm#TopOfPage>.
- IMTA. 2009. Extractor rápido de information climatológica version 3.
- Ireta, M. J.; Sosa, M. C.; Romero, C. S. y Bekele, G. 1989. Estimación de las pérdidas en trigo (*Triticum* sp. L.) causadas por la roña (*Fusarium graminearum* Schw.). Agrociencia. 77:89-102.
- Law, M. C.; Balasundram, S. K.; Husni, M. H.; Ahmed O. H. and Harun, M. H. 2009. Spatial variability of soil organic carbon in oil palm. Inter. J. Soil Sci. 4:93-103.
- Magrin, G. y Travasso, M. I. 1997. Potencial de producción del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en la región pampeana argentina. In: memorias de la reunión de planificación estratégica de trigo INTA-CIMMYT. Mar del Plata, Argentina. 34-45 pp.
- Miller, J. D.; ApSimon, J. W.; Blackwell, B. A.; Greenhalgh, R. and Taylor, A. 2001. Deoxynivalenol: a 25 years' perspective on a trichothecene of agricultural importance. In: Summerell, B. E.; Leslie, J. F.; Backhouse, D. Bryden, W. L. and Burgess L.W. *Fusarium*: Paul, E. Nelson Memorial Symposium. APS Press. St. Paul, MN, USA. 392 p.
- Nicholson, P.; Gosman, N.; Draeger, R.; Thomsett, M.; Chandler, E. and Steed, A. 2007. The *Fusarium* head blight pathosystem: status and knowledge of its components. In: Buck, H. T. Nisi, J.E. and Salomón N. (Eds.). Wheat Production in Stressed Environments. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 794 p.
- Peña, B. R. J.; Pérez, H. P.; Villaseñor, M. E.; Gómez, V. M. M. y Mendoza, L. M. A. 2008. Calidad de la cosecha de trigo en México. Ciclo primavera-verano 2006. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO, Tajín núm. 567, Col. Vertiz Narvarte, Delegación Benito Juárez, México, D. F. 28 p.
- Pineda, S. D. L. y Suárez, H. J. E. 2014. Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos. Ingeniería Agrícola. 4(3):28-32.

- Siabato, W. y Yudego, C. 2004. Geoestadística y medio ambiente. Territorio y medio ambiente: métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica. *In: aportaciones al XI congreso de métodos cuantitativos, SIG, teledetección y Departamento de Geografía, Universidad de Murcia.* Conesa, C. y Martínez, J. B. (Eds). Murcia, España. 11-25 p.
- SIAP 2014. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>.
- Sip, V.; Chrпова, J.; Leisova, L.; Sykorova, S.; Lucera, L. and Ovesna, J. 2007. Implications for *Fusarium* head blight control from study of factors determining pathogen and DON content in grain of wheat cultivars. pp. 281-287. *In: Buck, H. T.; Nisi, J. E. and Salomón N. (Eds.). Wheat Production in Stressed Environments.* Springer. Dordrecht, The Netherlands. 794 p.
- Velázquez, P. D.; Formento, A. N.; Velázquez, J. C.; Schutt, L. S.; Velázquez, R. D; Figoni, G. J.; Melchiori, R. J. 2012. Asociación entre fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum* y *Fusarium* spp.), genotipos de trigo y diferentes dosis de nitrógeno. Campaña 2011, Paraná, Entre Ríos. *In: XVI Jornadas Fitosanitarias Argentinas, Potrero de Los Funes, San Luis.*
- Villaseñor, H. E. y Moreno, G. R. 1998. Batán F-96, nueva variedad de trigo para siembras de temporal. Secretaría de Agricultura ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA)-Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)- Centro de Investigación Regional Centro (CIR)- Campo Experimental Valle de México. Folleto técnico núm. 8.
- Zadoks, J. C.; Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14:415-421.