

MODELACIÓN DEL RENDIMIENTO DE MAÍZ DE TEMPORAL PARA EL ESTADO DE NAYARIT, MÉXICO

Álvarez-Bravo, Arturo¹; Batlle-Sales, Jorge²; Bojórquez-Serrano, José Irán³; Vidal-Martínez, Víctor Antonio¹ y Madueño-Molina, Alberto³

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Nayarit, México.

² Universidad de Valencia, España

³ Profesor investigador, Universidad Autónoma de Nayarit, México

§ **Autor para correspondencia: alvarez.arturo@inifap.gob.mx**

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la agricultura permitió al hombre hacerse sedentario. Mejorar el desempeño de los cultivos ante diferentes ambientes y condiciones agronómicas ha resultado en mayor precisión, calidad y cantidad en la producción de alimentos en la actualidad. De las evaluaciones realizadas a diversos cultivos, se ha concluido que la respuesta de ellos al clima tiene una alta variabilidad, dependiendo de condiciones multifactoriales como: especie, cultivar, suelo, disponibilidad de agua, CO₂ entre otros (IPCC, 2001). Algunos cultivos serán muy afectados debido al incremento de las sequías extremas, la escasez de agua subterránea, la salinización, entre otros factores (FAO, 2010; Ojeda-Bustamante *et al.*, 2011). Hasta la fecha se han acumulado una gran cantidad de experiencias relacionadas con el uso de modelos de simulación de cultivos (Acosta, 2009), éstos funcionan como herramientas que facilitan la toma de decisiones, permitiendo anticipar escenarios en función de algún aspecto de interés como aumentos de temperatura, temporal errático, sequías, dosis de fertilización o fechas de siembra. Los modelos que simulan el crecimiento y desarrollo de los cultivos son herramientas importantes para la investigación agrícola moderna, permitiendo la representación sencilla y sintética de los procesos fisiológicos y ecológicos más importantes utilizando ecuaciones matemáticas (López Cruz *et al.*, 2005). Licona Santana *et al.* (2006) reportan que los modelos de simulación permiten hacer estimaciones de rendimiento de forma rápida y precisa, pero para ello requieren que los datos suministrados sean confiables. Los modelos de simulación más utilizados con el objetivo de predecir rendimientos en maíz son: “Crop Estimation through Resources and Environmental Synthesis” (CERES), el “CORN-AP” y el “Erosion Productivity Impact Calculator” (EPIC). El Sistema de Apoyo para Decisiones de Transferencia de Agrotecnología (DSSAT, por sus siglas en inglés, Decision Support System for Agrotechnology Transfer) se basa en un conjunto de aplicaciones que proveen al sistema de robustez, no tan solo por el número de cultivos que simula, sino por la cantidad de variables que considera (Jones *et al.* 2003; Hoogenboom *et al.*, 2010). Por su parte Lizaso y colaboradores (2011) reportan que desde 1986 el programa DSSAT es uno de los más utilizados y ya un referente importante por el módulo de simulación de maíz. Así mismo encontraron en la versión 4.5 un aumento en la estabilidad, lo que le otorga mayor precisión a los resultados. Diversos autores señalan la practicidad, facilidad de uso y precisión del software DSSAT en su versión 4.5, en simulaciones para evaluar el impacto del clima para algunos cultivos como maíz, arroz o trigo (Al-Bakri *et al.*, 2011; Abraha y Savage 2006; Jones P. G. and Thornton 2003; Vesselin A. and Eitzinger J. 2002). Por su parte Salinger *et al.* (2000) describen al fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO en inglés) como un importante forzante de variabilidad climática a corto plazo y responsable de alteraciones en el sistema océano-atmósfera. Este fenómeno se caracteriza por la anomalía de temperatura en la superficie del océano Pacífico ecuatorial, donde a la fase cálida se le conoce como “Niño”, la cual consta de una anomalía positiva mientras que la “Niña” es la fase fría o anomalía negativa. La fase “Neutra” es cuando la anomalía oscila sobre los valores medios $26.8 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (Latif y Keenlyside, 2009; Maturana *et al.*, 2004). Estas fases tienen un impacto directo sobre los cultivos y los rendimientos como lo

señalan De La Casa y Ovando (2006) quienes encontraron anomalías positivas en el rendimiento de maíz en fase Niño y negativas en Niña. En México, el ENSO ha sido estudiado por distintos autores, coincidiendo en una correlación entre las fases y la distribución de la precipitación (Méndez-González *et al.*, 2007 y Pavia *et al.*, 2006). En Nayarit se cultivan poco más de 300,000 ha de maíz en el verano (temporal de lluvias) que representa casi el 2% de la superficie nacional establecida con ese grano. Uno de los municipios representativos de este cultivo es Santa María del Oro, donde en 2013 se cultivaron más de 2,200 ha con un rendimiento promedio de 5 t/ha (SIAP, 2013). Sin embargo, no se conoce la precisión de algún simulador de rendimiento que pueda ser de utilidad en la región maicera de Nayarit. Comparar los rendimientos estimados por el software DSSAT versión 4.5 contra los rendimientos obtenidos en tres años fue el objetivo del presente trabajo. Los resultados permitirán dimensionar la utilidad y posible precisión de un simulador, el cual podría ser utilizado para estimar el rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

De una selección de tres años con fase del ENSO contrastante, se formatearon los datos meteorológicos así como cinco perfiles de suelo cercanos al sitio experimental en Santa María del Oro, Nayarit, México para su inclusión en el simulador de rendimiento. Las simulaciones se organizaron en tres ciclos vegetativos. Con los resultados de las simulaciones se construyó una tabla de datos predichos; asimismo, se utilizaron los datos de experimentales de maíces comerciales establecidos de la misma región productora y se incluyeron como datos “observados”, realizándose una comparación gráfica y estadística entre ambos conjuntos de datos. **Simulador de rendimiento.** Para la simulación se utilizó el software DSSAT versión 4.5 disponible en el sitio web: <http://dssat.net/downloads/dssat-v45> desarrollado en colaboración por distintas universidades y dependencias de América y Europa en 2012. El cual requirió insumos meteorológicos, fenológicos y edafológicos. **Fases del ENSO.** Se utilizó la meteorología de la estación 18005 ubicada en el municipio de Santa María del Oro. Los datos considerados para el año con fase “Niña” fueron 1999, para la fase “Niño” 2002 y para la fase “Neutro” 2005. Esos años correspondieron a eventos ENSO característicos de cada fase. **Base de datos de rendimiento.** Del Programa de Investigación de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se dispuso de los datos de rendimiento, fecha de siembra, fecha de cosecha, programa de fertilización de variedades comerciales de maíz organizados por ciclo vegetativo (Precoces, Intermedios y Tardíos). **Base de datos edáfica.** Para la caracterización del recurso suelo, se utilizó la base de datos de perfiles de suelo del INEGI serie II de 2007. **Análisis estadístico.** Se realizó un análisis de varianza por ciclo vegetativo y fase del ENSO. Para cuantificar las diferencias se utilizó una prueba de comparación de medias de Tukey con un alfa al 5% de nivel de confianza mediante el programa estadístico Minitab versión 16.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso de una herramienta informática que incluye un modelador de la fenología de maíz y a su vez estime el rendimiento hizo posible hacer una comparación con datos observados lo que permitió identificar la precisión del DSSAT Versión 4.5. Como se muestra en el Cuadro 1, según el simulador de rendimiento las variedades de ciclo vegetativo precoz tendrían un rendimiento cercano a los 6.5 t/ha en años con fase “Niño” siendo estadísticamente mayor a los años “Neutro” y “Niña”. En tanto que las variedades intermedias, el rendimiento estadísticamente alto fue en años “Neutro” con 10.5 t/ha y las variedades de ciclo tardío, con rendimientos mayores a 9 t/ha en años “Niño” y “Neutro”. Los resultados coinciden con lo reportado por De La Casa y Ovando (2006) donde señalan incrementos en el rendimiento en años “Niño”, aunque en el presente trabajo las variedades intermedias serían la excepción.

Cuadro 1: Influencia de las fases del ENSO sobre el rendimiento simulado por ciclo vegetativo.

	Ciclo	Niño	Neutro	Niña
Rendimiento (t/ha)	Precoz	6.48 a	6.21 b	6.28 b
	Intermedio	9.59 b	10.53 a	9.42 b
	Tardío	9.14 a	9.22 a	8.19 b

Medias con la misma literal en renglón no presentan diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey a $p \leq 0.05$.

Fase “Niño”

En lo que respecta a la comparación entre observados y predichos en años con fase “Niño”, se encontró que en las variedades precoces el simulador subestima con casi 2 toneladas de diferencia, mientras que en las variedades intermedias y tardías sobreestima 1.5 y 2.0 toneladas respectivamente (Figura 1).

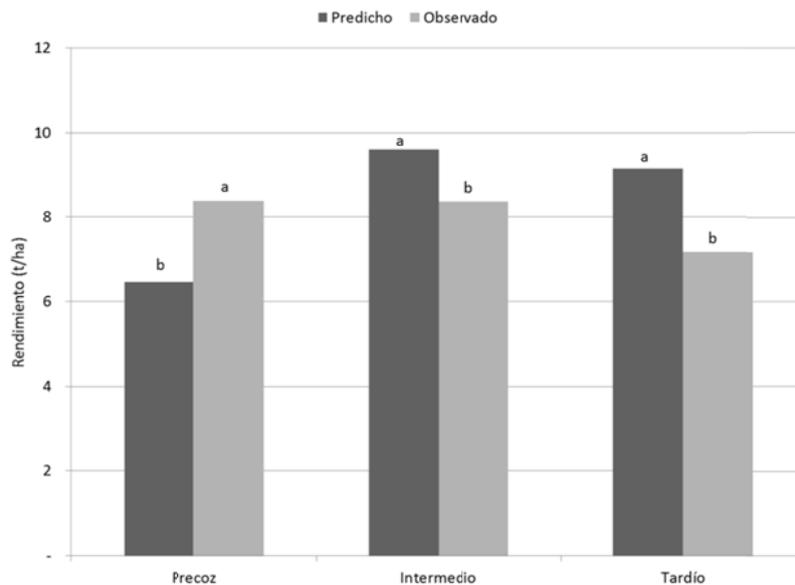
Fase “Neutro”

En las variedades intermedias el simulador sobreestimó 3.7 toneladas mientras que en las tardías 2.3 toneladas. Estadísticamente no existieron diferencias significativas entre observados y predichos en las variedades precoces (Figura 2).

Fase “Niña”

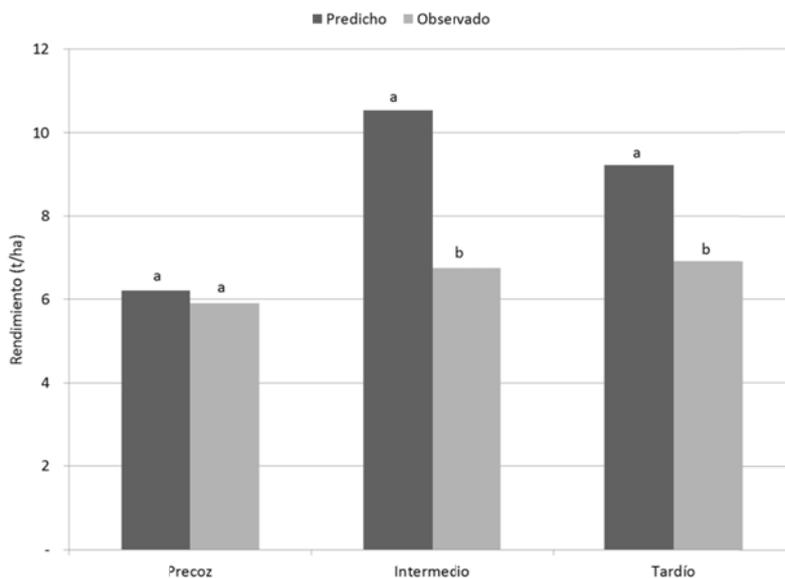
En la Figura 3, se puede observar como para variedades de ciclo vegetativo precoz el simulador subestimó en casi 2 toneladas, mientras que en variedades intermedias y tardías sobreestimó 2.7 y 1.3 toneladas, respectivamente.

Los resultados de este trabajo muestran como la precisión del simulador puede variar con respecto a la fase del ENSO y el ciclo vegetativo. Al mismo tiempo se infiere que las condiciones meteorológicas tienen una fuerte influencia en el algoritmo de simulación. Finalmente señalar que en el año con fase “Niño” se encontraron las menores desviaciones entre valores observados y predichos, mientras que en la fase “Neutro” para las variedades precoces no existieron diferencias estadísticas, mostrando el simulador una alta precisión. El año con fase Niña se caracterizó por la mayor imprecisión del simulador de rendimiento DSSAT 4.5.



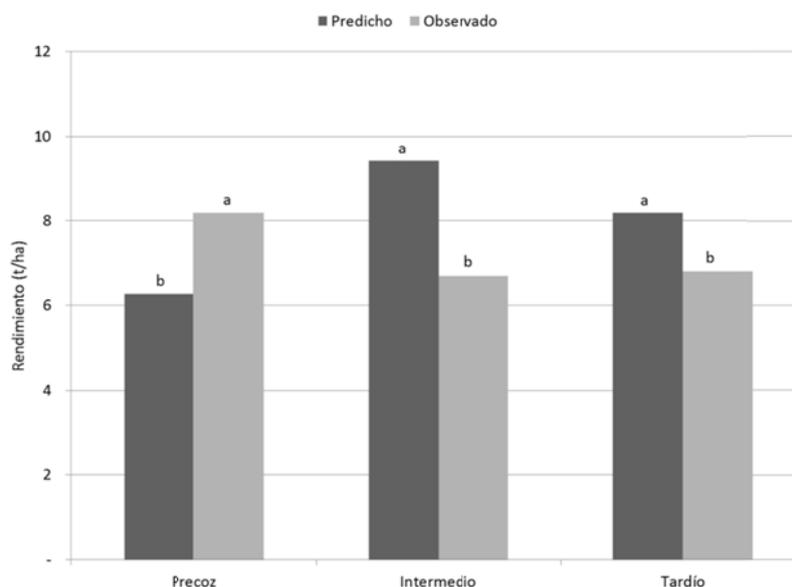
Literales iguales en grupos de los ciclos vegetativos muestran que no existe diferencia estadística, de acuerdo con la prueba de Tukey a $p \leq 0.05$.

Figura 1: Análisis del rendimiento por ciclo vegetativo para fase Niño.



Literales iguales en grupos de los ciclos vegetativos muestran que no existe diferencia estadística, de acuerdo con la prueba de Tukey a $p \leq 0.05$.

Figura 2: Análisis del rendimiento por ciclo vegetativo para fase Neutra.



Literales iguales en grupos de los ciclos vegetativos muestran que no existe diferencia estadística, de acuerdo con la prueba de Tukey a $p \leq 0.05$.

Figura 3: Análisis del rendimiento por ciclo vegetativo para fase Niña.

REFERENCIAS Autor. Título. Publicación, páginas, Año.

Abraha, M.G. and Savage, M.J. Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115(1-4):150–160, 2006.

Acosta, R. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. *El Maíz en Cuba. Cultivos tropicales*, 30(2):113–120, 2009.

De la Casa, A.C. y Ovando, G.G. Influencia de Episodios El Niño-Oscilación Sur (ENOS) sobre la Precipitación y el Rendimiento de Maíz en la Provincia de Córdoba, Argentina. *Agricultura Técnica*, 66(1):80-89, 2006.

FAO. 2010. 31ª Conferencia regional de la FAO para América Latina y El Caribe; el cambio climático y sus repercusiones en la producción agrícola, forestal y pesquera en América Latina y El Caribe. 16 p.

Hoogenboom, J.W.; Jones, C.H.; Porter, P.W.; Wilkens, K.J.; Boote, L.A. and Tsuji, G.Y. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.5. Volume 1: Overview*. University of Hawaii, Honolulu, HI, 2010.

IPCC. 2001. Tercer Informe de Evaluación, Impactos, adaptación y vulnerabilidad. 101 p. Jones, J.W. et al. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18,235–265, 2003.

Jones, P.G. and Thornton, P.K. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*, 13,51–59, 2003.

Latif, M. and Keenlyside, N.S. El Niño/Southern Oscillation response to global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 106(49):20578–20583, 2009.

Licona Santana, J.; Martínez Menes, M.R.; Mendoza Onofre, L. E.; Figueroa Sandoval, B. y Fernández Reynoso, D.S. Uso del modelo EPIC para estimar rendimientos de maíz con base en variables fisiotécnicas en el oriente del Estado de México. *TERRA Latinoamericana*, 24(2):283-291, 2006..

Lizaso, J.I.; Boote, K.J.; Jones, J.W.; Porter, C.H.; Echarte, L.; Westgate, M.E. and Sonohat, G. CSM-IXIM: A New Maize Simulation Model for DSSAT Version 4.5 *Agronomy Journal*, 103:766-779, 2011. .

López Cruz, I.L.; Ramírez Arias, A. y Rojano Aguilar, A. Modelos matemáticos de hortalizas en invernadero: trascendiendo la contemplación de la dinámica de cultivos. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 11(2): 257,2005.

Maturana, J.; Bello, M. y Manley, M. Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. *El Niño-La Niña 1997-2000. Sus efectos en Chile*. 13-27, 2004.

Méndez-González, J.; Navar-Cháidez, J.J.; González-Rodríguez, H. y Treviño-Garza, E.J. Teleconexiones del fenómeno ENSO a la precipitación mensual en México. *Ciencia UANL*, 3(10):290-298, 2007.

Ojeda-Bustamente, W.; Sifuentes-Ibarra, E.; Íñiguez-Covarrubias, M. y Montero-Martínez, M.J. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45:1–11, 2011.

Pavia, E.G.; Graef, F. and Reyes, J. PDO-ENSO Effects in the climate of Mexico. *Journal of Climate*, 19:6433-6438, 2006.

Salinger, M.J.; Stigter, C.J. and Das, H.P. Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103:167-184, 2000.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> Consultado en septiembre de 2014.

Vesselin A., Eitzinger J., C.V. and O.M. Potential impact of climate change on selected agricultural crops in north-eastern Austria. *Global change biology*, 8:372–389, 2002.