

INFLUENCIA DE LAS FASES DEL ENSO EN LA PRECIPITACIÓN DE LA REGIÓN PRODUCTORA DE MAÍZ DE TEMPORAL EN NAYARIT, MÉXICO

Víctor Antonio Vidal-Martínez¹, Arturo Álvarez-Bravo^{1§}, José Irán Bojórquez-Serrano² y Diego García-Paredes²

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

² Profesor investigador, Universidad Autónoma de Nayarit.

[§] Autor para correspondencia: alvarezbravo@lycos.com

INTRODUCCIÓN

Las condiciones meteorológicas son el principal factor ambiental que limita la productividad de los cultivos. Dichas condiciones suelen ser moduladas por eventos atmosféricos de escala sinóptica así como teleconexiones globales como el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO en inglés). Para Salinger *et al.* (2000) el ENSO es un importante forzante de variabilidad climática a corto plazo y responsable de alteraciones en el sistema océano-atmósfera, las cuales revelan implicaciones económicas, sociales, ambientales, políticas y académicas como lo detallan Zebiak *et al.* (2014). Este fenómeno se caracteriza por la anomalía de temperatura en la superficie del océano pacífico ecuatorial en la región 3.4 de “El Niño”, 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). El ONI es la media móvil de la anomalía de la temperatura de la superficie del mar en tres meses consecutivos (Guevara-Díaz, 2008). El uso de índices que describen las fases del ENSO y su interacción con la precipitación ha sido ampliamente documentado, por ejemplo en Sudamérica Pinilla y Pinzón (2012), (Ramírez-Builes y Jaramillo-Robledo (2009) y Ruiz-Cabarcas y Pabón-Caicedo (2013) reportan disminución de la precipitación en fase Niño y aumentos durante fase Niña. Del mismo modo, el ENSO se ha relacionado con el impacto en los cultivos como es el caso de Monasterio *et al.* (2011) señalan bajos rendimientos en fase Niña principalmente por daños en la fase de floración y llenado de grano en maíz. Así como De La Casa y Ovando (2006) encontraron anomalías positivas en el rendimiento de maíz en fase Niño y negativas en Niña. En México los impactos del ENSO han sido dimensionados por distintos autores, resaltando el trabajo de Adams *et al.* (2003) que encontraron en años Niño una disminución de la superficie establecida de maíz y un aumento en el precio en contraste con los años Niña donde el precio disminuye a causa de un aumento en la producción. Lo anterior se encuentra íntimamente relacionado con la distribución de la precipitación, siendo esto confirmado por Méndez-González *et al.* (2007) y Pavia *et al.* (2006) donde demostraron una teleconexión significativa entre las fases del ENSO y la precipitación mensual. En México, el maíz no tan solo es importante en términos alimenticios o industriales, sino también social y culturalmente (de los cereales que se producen en México el 65% es maíz). Del mismo modo, las 8.5 millones de hectáreas cultivadas de maíz en México, 88% corresponden al ciclo Primavera Verano o de temporal en este ciclo se obtienen en promedio 2.3ton/ha (SAGARPA, 2011). En Nayarit se cultivan 315,596 ha de maíz de temporal que representan 1.9% de la superficie nacional. Mientras que el municipio de Santa María del Oro para 2013 se establecieron 2,217 ha con un rendimiento promedio de 5 ton (SIAP, 2013). A pesar de la importancia relativa que tiene el cultivo para la región, no se conoce el impacto del ENSO sobre la meteorología en las diferentes etapas fenológicas. Analizar el impacto de este fenómeno en algunas variables meteorológicas en el periodo de siembra a floración por tipo de ciclo vegetativo fue el objetivo del presente trabajo. Los resultados brindarán soporte a la toma de decisiones por parte de productores y técnicos para la selección de tipos de variedades adecuadas al temporal en función de la fase del ENSO.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. El sitio experimental representa la zona maicera de temporal en Nayarit, México. Se ubicó en las proximidades de la localidad San José de Mojarras, municipio de Santa María del Oro a una altitud de 940 msnm, siendo el régimen de humedad de temporal estricto con precipitación entre junio y octubre. **Base de datos fenológica.** Proveniente del Programa de Investigación de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Se utilizó una base de datos con 15 años de registros, desde el ciclo 98-99 hasta el 12-13. Ésta se constituyó de 344 registros de variedades comerciales y regionales de maíz, de la cual se obtuvieron fecha de siembra (FS), fecha de floración (FF). Para categorizar las variedades según su hábito de crecimiento se utilizó el siguiente criterio: precoz ≤ 57 días a floración, intermedio > 57 y < 62 días a floración y tardío ≥ 62 días a floración. **Índice oceánico del Niño.** Del sitio de internet del Centro de Predicción Climática de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos se obtuvieron los datos mensuales del índice oceánico del Niño referentes a la región 3.4 (5°N - 5°S , 120° - 170°W), los cuales corresponden a la anomalía de la media móvil trimestral. Los valores se clasificaron en tres fases: Cálida o Niño (anomalía $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$), Fría o Niña (anomalía $\leq -0.5^{\circ}\text{C}$) y Neutro (anomalía entre -0.5°C y 0.5°C). **Datos meteorológicos.** Se dispuso de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional, estación Cerro Blanco con clave 18005 que se ubica en las coordenadas de latitud norte $21^{\circ}22'36''$ y longitud oeste $104^{\circ}37'06''$ a una altitud de 965 msnm, la cual se constituyó de registros diarios de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura media ($T_{med}=(T_{max}+T_{min})/2$) y precipitación. **Variables de estudio.** Para la cuantificación meteorológica en la etapa vegetativa de cada variedad y ciclo establecido se consideró el periodo de FS a FF. Las variables se calcularon de la siguiente manera: Precipitación (P)=cantidad de precipitación acumulada en el periodo. Grados día de desarrollo (GDD)= $T_{med}-T_b$; donde: $T_b = 10^{\circ}\text{C}$ (Shaw, 1975; Ruiz *et al.*, 2011). Evapotranspiración potencial (ET_0)= $0.0023*(T_{med} + 17.78) R_a (T_{max} - T_{min})^{0.5}$; donde: R_a = radiación solar extraterrestre, en mm/día. **Gestión de los datos.** Se integró una base de datos del hábito de crecimiento, ciclo de producción, rendimiento y variables meteorológicas organizadas por fase del ENSO. **Análisis estadístico.** Para identificar las posibles diferencias por fase del ENSO se utilizó un análisis de varianza. Cuando se presentaron diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación de medias (Tukey con un alfa al 0.05% de nivel de confianza) mediante el programa estadístico Minitab versión 16.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto del fenómeno de “El Niño Oscilación del Sur” sobre la meteorología en Santa María del Oro para el periodo de siembra a floración en maíz de temporal en los 15 ciclos analizados, mostró diferencias relevantes en las distintas fases. La “Niña” se caracterizó por condiciones más húmedas de lo normal contrario lo que sucede en la fase “Niño” vinculado a condiciones más secas. Lo anterior coincide con lo encontrado por Ruiz-Cabarcas y Pabón-Caicedo (2013), Pavia *et al.* (2006) y Moeletsi *et al.* (20011), donde las fases del ENSO contrastan principalmente en anomalías en precipitación siendo positivas para “Niña” y negativas en “Niño”. El análisis de las variables meteorológicas desde FS hasta FF, distinguiendo la fase del ENSO, se observa en el Cuadro 1. La P mostró diferencias estadísticas entre las tres fases, siendo el episodio Niña el de mayor cantidad acumulada en el periodo (43.6%), equivalente a 200 mm de diferencia con respecto a los años Niño que presentaron la menor acumulación (467.36 mm). La ET_0 no mostró diferencias entre años Niño y Neutro (>320.9 mm), sin embargo los años Niña fueron 9 mm menores con respecto a los Niño. Finalmente, no se encontraron diferencias por fase del ENSO en los GDD acumulado siendo el rango encontrado entre 818.75°C y 807.51°C . Ruiz *et al.* (1999) citando a diversos autores señala que el maíz prospera en múltiples

condiciones ambientales pero dicha plasticidad es influenciada por los hábitos de crecimiento del cultivo, lo cual se constata con lo encontrado en el presente trabajo.

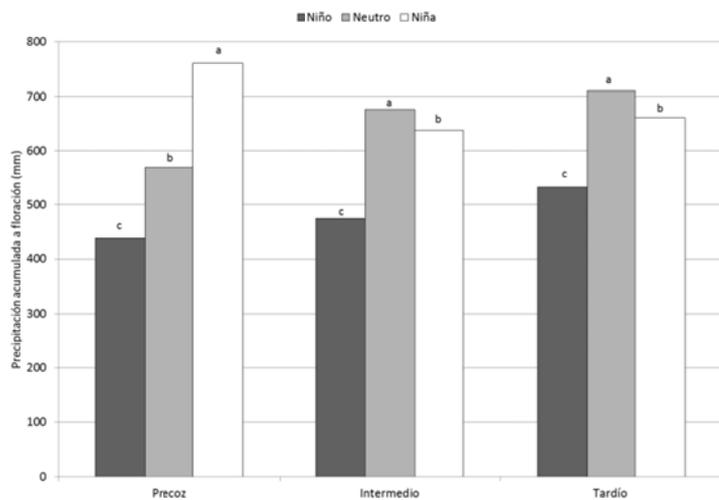
Cuadro 1: Influencia del ENSO sobre variables meteorológicas desde siembra a floración en variedades mejoradas de maíz en temporal.

| | Fase del ENSO | | |
|-----------------------------------|---------------|---------|---------|
| | Niño | Neutro | Niña |
| Precipitación (mm) | 467.36c | 641.60b | 671.22a |
| Días húmedos (Día) | 30.77b | 38.96a | 39.58a |
| Evapotranspiración potencial (mm) | 323.01a | 320.94a | 313.44b |
| Grados día de desarrollo (°C) | 818.75a | 808.75a | 807.51a |

Medias con misma literal en renglón no presentan diferencias significativas (Tukey a $p \leq 0.05$).

Precipitación

Los resultados del análisis de varianza muestran diferencias estadísticamente significativas en P. Para las variedades precoces en año Niña se registran más de 750 mm de precipitación a floración (Figura 1), en tanto que en años Neutro para las variedades intermedias y tardías la P acumula más de 650 mm. Para los tres ciclos vegetativos los años con fase Niño acumulan la menor P de siembra a floración (420-520 mm). Trabajos como los de Granados-Ramírez y Sarabia-Rodríguez (2013) y, manifiestan que los requerimientos hídricos para maíz de temporal deben ser superiores a los 400 mm a floración, en tanto que Ruiz *et al.* (1999) y Ruiz *et al.* (2013) señalan que el maíz prospera con P mayor a 600 mm acumulados en el ciclo completo. Los resultados del presente trabajo muestran como estos requerimientos son aportados en las distintas fases del ENSO y en los tres ciclos vegetativos tan solo a floración, por lo que en términos de P se puede considerar como un factor no limitante para el desarrollo del cultivo en esta región.



Evapotranspiración potencial

Las variedades tardías no mostraron diferencias estadísticas por fase del ENSO (320-350 mm). En tanto que las variedades precoces e intermedias, los años con fase Niña mostraron los promedios más bajos en la ET_0 como se observa en la Figura 2. Teixeira *et al.* (2013) encontraron para una región de Buenos Aires, Argentina que los eventos ENSO se relacionan con anomalías positivas en la evapotranspiración en fase "Niña" y negativas en "Niño" contrario a lo encontrado en Nayarit, sin embargo el ENSO se manifiesta en la región sur del continente de manera inversa al norte, por lo que se puede considerar como una similitud entre regiones.

Grados día de desarrollo

Las variedades tardías acumularon más de 850 GDD en cualquier fase del ENSO. Las precoces acumularon entre 760-790 GDD siendo en años Neutro donde la acumulación fue significativamente menor (760 GDD) y finalmente las variedades intermedias entre 810-830 GDD. Fueron los años con fase Niño los que acumularon más GDD en los tres ciclos vegetativos (Figura 3). Estos resultados coinciden con razas del grupo tropical precoces como Conejo, Zapalote Chico, Ratón y Nal-Tel, descritas por Ruiz *et al.* (2013) Lo anterior permite especular sobre la plasticidad del maíz en razas criollas y la vulnerabilidad de algunos maíces comerciales sobre lo específico de su hábito y ambiente de desarrollo. Mercer y Perales (2010) concluyen que las razas criollas se adaptan mejor a condiciones cambiantes del ambiente gracias a su mayor variación genética.

REFERENCIAS

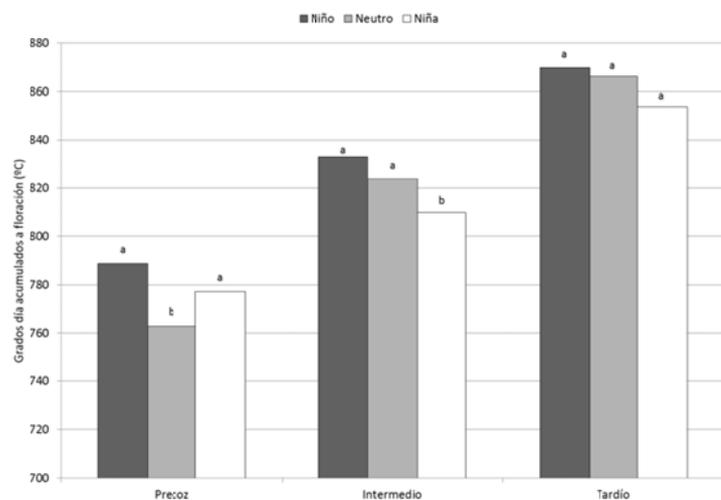
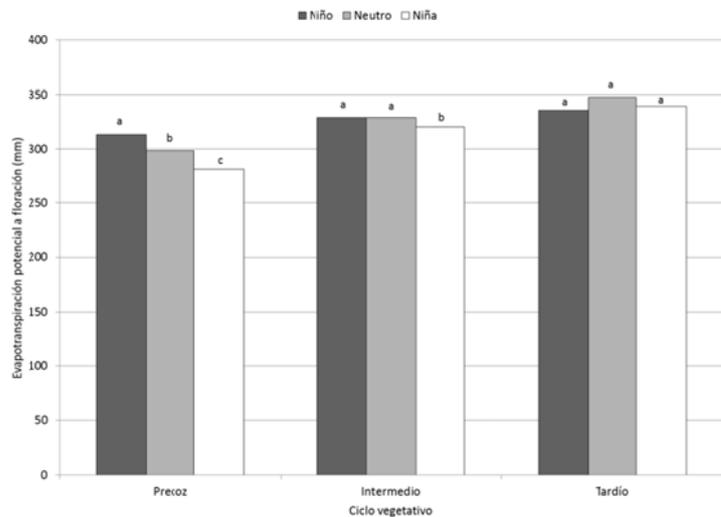
Adams, R.A.; Houston, L.L.; McCarl, B.A.; Tiscareño-L., M.; Matus-G., J. and Weiher, R.F. The benefits to Mexican agriculture of an El Niño-southern oscillation (ENSO) early warning system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 115:183-194, 2003.

Cabarcas-Ruiz, A.C. y Pabón-Caicedo, J.D. Efecto de los fenómenos de El Niño y La Niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del departamento del Atlántico

(Colombia). *Cuadernos de Geografía Revista Colombiana de Geografía*, 22(2):35-54, 2013.

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.

Granados-Ramírez, R. y Sarabia-Rodríguez, A.A. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4):435-446, 2013.



Guevara-Díaz, J.M. El abc de los índices usados en la identificación y definición cuantitativa de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO). *Terra*, 35(24):85-140, 2008.

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.

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.

Mercer, K.L. and Perales, H.R. Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary Applications*, 3(5-6):480-493, 2010.

Moeletsi, M. E.; Walker, S. and Landman, W.A. ENSO and implications on rainfall characteristics with reference to maize production in the Free State Province of South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36(14-15):715-726, 2011.

Monasterio, P.P.; Pierre, F.; Barreto, T.; Marin, C.; Mora, O.; Tablante, J.; Maturat, W. y Mendoza, C. Influencia del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur sobre la precipitación y rendimiento del cultivo de maíz en el municipio Peña, estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 61(1):59-72, 2011.

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

Pinilla, M.C. y Pinzón, C. Influencia del ciclo ENOS sobre la precipitación en los municipios de Betulia, San Vicente de Chucurí, Zapatoca y Girón, departamento de Santander, Colombia. 8º Congreso Internacional: "Cambio climático: Extremos e impactos", 581-592, 2012.

Ramírez-Builes, V.H. y Jaramillo-Robledo, A. Relación entre el índice oceánico de El Niño y la lluvia, en la región andina central de Colombia. *Cenicafé*, 60(2):161-172, 2009.

Ruiz-Corral, J.A.; Hernández-Casillas, J.M.; Sánchez-González, J.J.; Ortega-Corona, A.; Ramírez-Ojeda, A.; Guerrero-Herrera, M.J.; Aragón-Cuevas, F.; Vidal-Martínez, V.A. y De-La-Cruz-Larios, L. Ecología y distribución actual y potencial de razas mexicanas de maíz. *Libro Técnico Núm. 5*, 149 p, 2013.

Ruiz-Corral, J.A.; Sánchez-González, J.J.; Hernández-Casillas, J.M.; Willcox, M.C.; Ramírez-Ojeda, G.; Ramírez-Díaz, J.L. y González-Eguiarte, R. Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4):829-842, 2013.

Ruiz-Corral, J.A.; Medina-García, G.; González-Acuña, I.J.; Ortiz-Trejo, C.; Flores-López, H.E.; Martínez-Parra, R.A. y Byerly-Murphy, K.F. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. *Libro Técnico Núm. 3*, 324 p, 2013.

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.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012. 208 p, 2011.

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

Teixeira-Soria, P.; Pannunzio, A. y Borello, L. Impacto del fenómeno "El Niño – Oscilación del Sur" sobre la evapotranspiración de la localidad de San Pedro, Buenos Aires, Argentina, para el periodo 2005-2011. *Revista de Climatología*, 13:27-34, 2013.

Zebiak, S.E.; Orlove, B.; Muñoz, A.G.; Vaughan, C.; Hansen, J.; Troy, T.; Thomson, M.C.; Lustig, A. and Samantha Garvin. Investigating El Niño-Southern Oscillation and society relationship. *Climatic Change*, doi: 10.1002/wcc.294, 2014.