

Influencia del niño oscilación del sur sobre el rendimiento de maíz de temporal en Nayarit

José Irán Bojórquez-Serrano¹
Víctor Antonio Vidal-Martínez^{2§}
Arturo Álvarez-Bravo²
Bulmaro Coutiño-Estrada³

¹Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura Amado Nervo, Tepic, Nayarit. CP 63190.

²INIFAP-Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Nayarit, México CP. 63300. (alvarez.arturo@inifap.gob.mx). ³INIFAP-Campo Experimental Centro de Chiapas. (coutino.bulmaro@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: vidal.victorantonio@inifap.gob.mx.

Resumen

En México el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) en inglés, incide sobre las condiciones meteorológicas y en consecuencia sobre el comportamiento de los cultivos en especial del maíz de temporal. Para la región productora de maíz de temporal en el estado de Nayarit, no se dispone de antecedentes que dimensionen esta influencia. El objetivo de esta investigación fue conocer el impacto de las fases del ENSO sobre algunas variables meteorológicas durante el ciclo vegetativo del maíz y el grado de vulnerabilidad sobre el rendimiento de grano. Se utilizó una base de datos fenológica de 15 años de registros de evaluaciones de variedades comerciales de maíz. Cuantificándose la precipitación pluvial, días húmedos, evapotranspiración potencial y grados días de desarrollo durante el ciclo vegetativo del cultivo, agrupando los datos por fase del ENSO 'El Niño', 'Neutro' y 'La Niña'. Aunado a un análisis del rendimiento y su vulnerabilidad a la variabilidad climática. Fue ampliamente identificada la influencia en la precipitación y temperatura del aire (grados día de desarrollo) las cuales son importantes para el desarrollo del maíz en temporal. En eventos 'Niña' la precipitación es 28.6% más alta que en fase 'Niño', contrario a los grados día de desarrollo, donde en fase 'Niño' se acumula 6.3% más que en 'Neutro' o 'Niña'. Lo anterior, explica el comportamiento del rendimiento de variedades precoces en fase 'Niño' (superiores a 8 t ha⁻¹) y deja en claro como la vulnerabilidad de este cultivo puede disminuir si se dispone de semilla adecuada para cada fase del ENSO.

Palabras clave: *Zea mays* L., ENOS, variabilidad climática.

Recibido: junio de 2020

Aceptado: julio de 2020

Introducción

En México la influencia del fenómeno ‘El Niño Oscilación del Sur’ (ENSO) sobre las condiciones meteorológicas gobierna el comportamiento de los cultivos en especial del maíz. En zonas de temporal con sistemas de producción marginales los rendimientos se verán comprometidos por las variaciones interanuales de la precipitación resultando en años con rendimientos contrastantes (Vallejo-Nieto *et al.*, 2011). Dichas variaciones suelen ser moduladas por eventos atmosféricos de escala sinóptica, así como teleconexiones globales como el fenómeno ‘El Niño Oscilación del Sur’. Este fenómeno se caracteriza por la anomalía de temperatura en la superficie del océano pacífico ecuatorial en la región 3.4 de ‘El Niño’ (Latif y Keenlyside, 2009; Maturana *et al.*, 2004).

Existen diferentes modelos llamados ‘Índices’ que explican con cierto grado de precisión el comportamiento del ENSO. Sin embargo, en los países norteamericanos se recomienda el uso del Índice Oceánico de ‘El Niño’ (ONI) desarrollado por el Centro de Predicción Climática de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) por sus siglas en inglés. El ONI es la media móvil trimestral de la anomalía de temperatura en la superficie del océano pacífico ecuatorial (subregión 3.4) (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 ‘El Niño’ y aumentos durante la ‘La Niña’. 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 tienen implicaciones económicas, sociales, ambientales, políticas y académicas como lo detallan también Zebiak *et al.* (2014). Iizumi *et al.* (2014) resaltan la importancia del estudio del ENSO y su efecto en el rendimiento de los cultivos, ya que en muchas regiones del mundo esta relación es incierta.

De La Casa y Ovando (2006) encontraron estadísticamente anomalías positivas en el rendimiento de maíz en fase ‘El Niño’ y negativas en ‘La Niña’, al igual que Monasterio *et al.* (2011) en Venezuela y Shuai *et al.* (2016) en China, señalan bajos rendimientos en fase ‘La Niña’ y altos rendimientos durante episodios ‘El Niño’. En contraste con lo reportado por Moeletsi *et al.* (2011) donde en Sudáfrica el rendimiento disminuye en años ‘El Niño’ (sequías) y aumenta en fase ‘La Niña’ (principalmente por un aumento de la precipitación). En México los impactos del ENSO han sido dimensionados por distintos autores, resaltando el trabajo de Adams *et al.* (2003) que encontraron en años con fase ‘El Niño’ una disminución de la superficie establecida de maíz y un aumento en el precio en contraste con los años ‘La Niña’ donde el precio disminuye a causa de un aumento en la producción.

Lo anterior se encuentra relacionado con la distribución de la precipitación, siendo esto confirmado por Méndez-González *et al.* (2007); Pavia *et al.* (2006) donde demostraron una relación significativa entre las fases del ENSO y la precipitación mensual. En Nayarit se cultivan poco más de 40 mil ha de maíz de temporal que representan 1.9% de la superficie nacional. Mientras que Santa María del Oro en Nayarit, reviste importancia por ser una región de evaluaciones de maíz por parte de centros de investigación, así como por ser de los municipios con mayores rendimientos (5 t ha^{-1}) y contar con una superficie establecida de más de 2 000 ha (SIAP, 2016).

A pesar de la importancia relativa que tiene el cultivo para la región, no se conoce el impacto del ENSO sobre el rendimiento de maíz. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue analizar el impacto de las fases del ENSO en algunas variables meteorológicas y en el rendimiento de maíz de temporal. Los resultados pueden ser útiles en la toma de decisiones por parte de productores y técnicos para la selección de variedades de maíz de adecuadas en función de la fase del ENSO a prevalecer en subsecuentes ciclos de cultivo.

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

Se utilizó una base de datos con 15 años de registros, desde el ciclo 1998-1999 hasta el 2012-2013. 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) y fecha de cosecha (FC). 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 de ‘El Niño’

Del sitio de internet de la NOAA se obtuvieron los datos mensuales del ONI (NOAA, 2017). Los valores se clasificaron en tres fases: cálida o ‘El Niño’ (anomalía ≥ 0.5 °C), fría o ‘La Niña’ (anomalía ≤ -0.5 °C) y ‘Neutro’ con anomalías entre -0.5 °C y 0.5 °C (Latif y Keenlyside, 2009).

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. El dato de radiación solar diaria se obtuvo de la base de datos del proyecto ‘la meteorología superficial y la energía solar’ (NASA, 2017).

Variables de estudio

Para la cuantificación meteorológica se consideró el periodo de FS a FC. Las variables se calcularon de la siguiente manera: precipitación (P)= cantidad de precipitación pluvial acumulada en el periodo. Días húmedos (DH)= representa el número de días con precipitación mayor a 1 mm. Evapotranspiración potencial (ET_0 en mm/día) = $0.0023 \times Ra \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times (T_{med} + 17.78)$, donde: Ra= radiación solar. Grados día de desarrollo (GDD)= $T_{med} - T_b$; donde: $T_b = 10$ °C.

Rendimiento (Ren)= $P_c \times F_s \times F_h$, donde: P_c = peso de campo, en función de peso directo de grano (sin peso de mazorca ni factor de desgrane) por parcela en función de número de plantas cosechadas con competencia completa. F_s (factor de superficie)= kg parcela^{-1} en kg ha^{-1} : $10\,000 \text{ m}^2/\text{superficie}$ ocupada por plantas cosechadas. $F_h = 100 - H_g$ (14%)/86; donde: H_g = porcentaje de humedad del grano a cosecha.

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 (Minitab, 2010).

Resultados y discusión

Influencia del ENSO sobre las variables meteorológicas evaluadas

El efecto del fenómeno de ‘El Niño Oscilación del Sur’ sobre las variables meteorológicas evaluadas en la región productora de maíz de temporal en Nayarit en los 15 ciclos analizados, mostró diferencias relevantes en las distintas fases. ‘La Niña’ se caracterizó por condiciones más húmedas (P y DH) y una menor acumulación de calor (GDD), contrario lo que sucede en la fase ‘El Niño’ caracterizado por condiciones más secas (menor precipitación pluvial) y mayor acumulación de grados día de desarrollo.

Lo anterior coincide con lo encontrado por Ruiz-Cabarcas y Pabón-Caicedo (2013), Pavia *et al.* (2006) y Moeletsi *et al.* (2011), donde las fases del ENSO contrastan principalmente en anomalías en precipitación siendo positivas para ‘La Niña’ y negativas en ‘El Niño’. En el análisis de las variables meteorológicas de FS a FC, distinguiendo la fase del ENSO se logró identificar como la P mostró diferencias entre fases, siendo los episodios ‘La Niña’ los de mayor cantidad acumulada en el periodo (997 mm) lo que equivale a 28.6% más con respecto a la fase ‘El Niño’ (712 mm).

En lo que respecta a los DH, los años con fase ‘El Niño’ presentaron la menor acumulación de DH (50), mientras que los años ‘Neutro’ y ‘La Niña’ acumularon 60 y 62 respectivamente (no habiendo diferencias estadísticas entre estos dos últimos). La evapotranspiración potencial no mostró diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre las tres fases, siendo una fluctuación de solo 21 mm entre las medias extremas. Finalmente, se identificaron diferencias en los GDD acumulado en años ‘El Niño’ de 6.3% mayores a los años ‘Neutro’ y ‘La Niña’, fluctuando los valores entre 1 887 °C y los 2015 °C. Ruiz-Corral *et al.* (1999) citando a diversos autores señala que el maíz prospera en múltiples condiciones ambientales pero dicha plasticidad fenotípica es influenciada por los hábitos de crecimiento del cultivo, lo cual se constata en el presente trabajo.

Estos resultados coinciden con razas del grupo tropical precoces como Conejo, Zapalote Chico, Ratón y Nal-Tel, descritas por Ruiz-Corral *et al.* (2013). Lo anterior, permite vislumbrar la presencia de dicha plasticidad fenotípica en maíces de amplia adaptación, como la existente en las razas criollas, en contraparte a la vulnerabilidad de los maíces comerciales sobre lo específico de su hábito (genotipos mejorados) y a la presencia de una adaptación estrecha tanto en ambientes

donde se forman, desarrollan y cultivan. Mercer y Perales (2010) concluyen que las razas criollas se adaptan mejor a condiciones cambiantes del ambiente gracias a su mayor variación genética, que les confiere esa plasticidad fenotípica de adaptarse a ambientes poco favorables (Cuadro 1).

Cuadro 1. Influencia del ENSO sobre la meteorología de siembra a cosecha.

Variable meteorológica	Fase del ENSO		
	‘El Niño’	‘Neutro’	‘La Niña’
Precipitación	712.39 c	908.5 b	997.5 a
Días húmedos	50.38 b	60.69 a	62.4 a
Evapotranspiración potencial	737.88 a	749.61 a	758.97 a
Grados día de desarrollo	2015.8 a	1928.18 b	1887.8 b

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

Fases del ENSO y el rendimiento

El cultivo de maíz establecido bajo condiciones de temporal está expuesto a las variaciones meteorológicas, por lo que el rendimiento se ve altamente influenciado. Los resultados de este trabajo muestran que el rendimiento fue sensible a las condiciones ambientales establecidas por las tres fases del ENSO lo cual refuerza la importancia y necesidad de conocer el efecto del ENSO en los rendimientos tal como lo señalaron Izumi *et al.* (2014); Zebiak *et al.* (2014). Los rendimientos de grano superiores a las 8 t ha⁻¹, fueron obtenidos por las variedades precoces dentro de las fases ‘El Niño’ y ‘La Niña’ y en las variedades intermedias en la fase ‘El Niño’. El rendimiento más bajo lo obtuvieron las variedades precoces y de ciclo intermedio en fase ‘Neutro’, mientras que las variedades tardías registraron el rendimiento más bajo en fase ‘La Niña’. Sin considerar el hábito de crecimiento, los mejores rendimientos se obtuvieron en fase ‘El Niño’ (< 8 t ha⁻¹), mientras que los menores rendimientos (6.5 t ha⁻¹) se obtuvieron en la fase ‘Neutro’ (Cuadro 2).

Cuadro 2. Influencia del ENSO sobre el rendimiento por ciclo vegetativo.

Fase del ENSO	Rendimiento (t ha ⁻¹)		
	Precoz	Intermedio	Tardío
‘El Niño’	8.37 a	8.35 a	7.19 b
‘Neutro’	5.9 b	6.75 a	6.92 a
‘La Niña’	8.18 a	6.81 b	6.69 b

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

Estos resultados coinciden con otros trabajos alrededor del mundo como en Argentina (De La Casa y Ovando, 2006), en Venezuela (Monasterio *et al.*, 2011) o en China (Shuai *et al.*, 2016) donde las condiciones de la fase ‘El Niño’ fueron propicias para alcanzar altos rendimientos. Aunque Méndez-González *et al.* (2007); Pavia *et al.* (2006); Llano y Vargas (2011) consideran que la fase ‘El Niño’ está relacionada con un temporal deficitario en términos de lluvia, se ha demostrado que para la zona de estudio la P durante esta fase no es un factor limitante sobre todo para las variedades precoces que alcanzan sus requerimientos hídricos con mayor eficiencia en esta fase (Álvarez-Bravo *et al.*, 2014).

En promedio las variedades precoces alcanzaron 78.8% del rendimiento potencial (9.5 t ha⁻¹) siendo el porcentaje más alto. Por el contrario, las variedades tardías expresaron 73% del rendimiento potencial. Sin embargo, las variedades tardías son las que presentan los rendimientos con menor variación según la fase del ENSO (70.4 a 75.8%). La mayor diferencia de rendimiento se presentó en las variedades de hábito precoz durante fase ‘Neutro’ (37.9%).

La fase ‘El Niño’ fue la que permitió la mejor expresión del rendimiento potencial entre ciclos vegetativos (84% en promedio). En la fase ‘Neutro’ se obtuvo la mayor diferencia entre el rendimiento observado y el potencial (menores rendimientos) con 69% en promedio (Figura 1). Por la importancia que implica para México la producción de maíz, resultados como los de esta investigación abonan a la construcción de un sistema que brinde seguridad alimentaria ante la influencia fluctuante del ambiente.

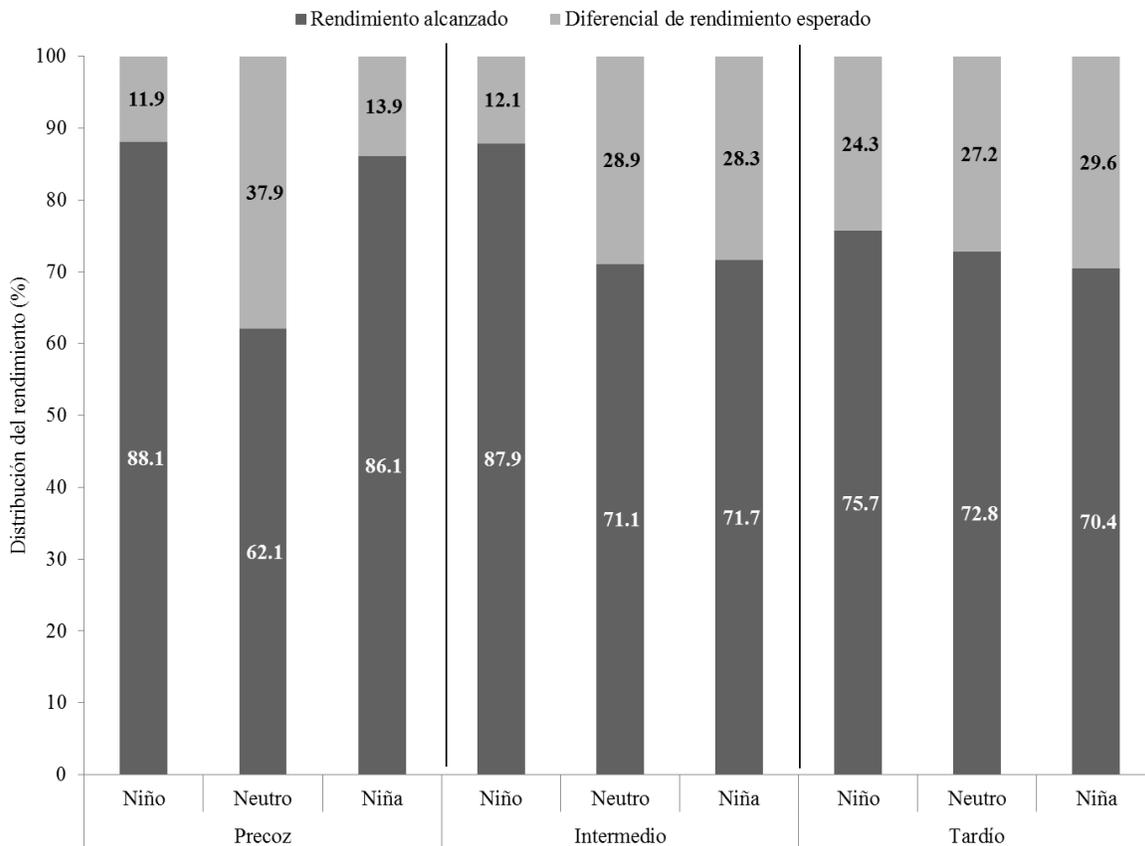


Figura 1. Distribución del rendimiento por ciclo vegetativo y fase del ENSO.

Lo anterior reafirma las conclusiones de Bojórquez-Serrano *et al.* (2016) en el sentido de mejorar el entendimiento de la dinámica de la producción de maíz para disminuir la vulnerabilidad del sector productivo. Al clasificar el rendimiento de las diferentes variedades según su ciclo vegetativo y el efecto que tienen las diferentes fases del ENSO en las variables meteorológicas, permitirá disminuir el riesgo de bajos rendimientos asociado a la variabilidad climática del mismo modo que lo señalan Vallejo-Nieto *et al.* (2011); Ponvert-Delisle *et al.* (2007).

Conclusiones

Las fases del fenómeno ‘El Niño Oscilación del Sur’ inciden en algunas variables meteorológicas de importancia para la producción de maíz de temporal en Nayarit. Estas fases influyen de manera diferida según el tipo de ciclo vegetativo del maíz. Los eventos ‘La Niña’ se caracterizaron por condiciones húmedas en contraste con la fase ‘El Niño’. El rendimiento del maíz es favorecido por un temporal mejor distribuido, entre menos días húmedos (‘El Niño’) que por un temporal muy lluvioso (‘La Niña’), donde el intervalo entre días húmedos es menor y por ende su distribución no es adecuada. Las variedades precoces son las menos vulnerables a la variabilidad climática, particularmente en fase ‘El Niño’. En tanto que la fase del ENSO que más incide la pérdida de rendimiento en los tres ciclos vegetativos del maíz es en fase ‘Neutro’.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, la Universidad Autónoma de Nayarit, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Pero, sobre todo a los productores cooperantes que hicieron posible el establecimiento de los experimentos en sus parcelas.

Literatura citada

- Adams, R. A.; Houston, L. L.; McCarl, B. A.; Tiscareño-L., M.; Matus-G., J. and Weiher, R.F. 2003. The benefits to Mexican agriculture of an El Niño-southern oscillation (ENSO) early warning system. Netherlands. Agricultural and Forest Meteorology. 115(3-4):183-194. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00201-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00201-0).
- Álvarez-Bravo, A.; Vidal-Martínez, V. A.; Bojórquez-Serrano, J. I. y García-Paredes, D. 2014. Respuesta del maíz al impacto ambiental ocurrido en las etapas de floración y ciclo vegetativo. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 5(10):2035-2045.
- Bojórquez-Serrano, J. I.; Álvarez-Bravo, A.; Vidal-Martínez, V. A.; Magaña-Rueda, V. O. y Marceleño-Flores, S. 2016. Modelo de vulnerabilidad y riesgo de la producción de maíz de temporal en Nayarit, México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 7(13):2475-2485.
- De la Casa, A. C. y Ovando, G. G. 2006. Influencia de Episodios El Niño-Oscilación Sur (ENOS) Sobre la Precipitación y el Rendimiento de Maíz en la Provincia de Córdoba, Argentina. Chile. Agricultura Técnica. 66(1):80-89.
- Guevara-Díaz, J. M. 2008. El abc de los índices usados en la identificación y definición cuantitativa de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO). México. Terra. 35(24):85-140.
- Iizumi, T.; Luo, J. J.; Challinor, A. J.; Sakurai, G.; Yokozawa, M.; Sakuma H. and Yamagata, T. 2014. Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. Nature Communications. 5:3712. <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms471>.
- Latif, M. and Keenlyside, N. S. 2009. El Niño/Southern Oscillation response to global warming. U.S.A. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 106(49):20578-20583.
- Llano, M. P. y Vargas, W. 2011. Relación clima-rendimiento del maíz mediante el uso de un modelo estadístico. In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorología. 236-273 pp.

- Maturana, J.; Bello, M. y Manley, M. 2004. Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur: En: El Niño-La Niña 1997-2000. Sus efectos en Chile. Comité Oceanográfico Nacional de Chile. Valparaíso, Chile. 13-27 p.
- Méndez-González, J.; Navar-Cháidez, J. J.; González-Rodríguez, H. y Treviño-Garza, E. J. 2007. Teleconexiones del fenómeno ENSO a la precipitación mensual en México. México. Ciencia UANL. 3(10):290-298.
- Mercer, K. L. and Perales, H. R. 2010. Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. USA. Evolutionary Applications. 3(5-6):480-493.
- Minitab. 2010. Meet Minitab 16. Quality Plaza 1829 Pine Hall Rd State College, PA. USA.
- Moeletsi, M. E.; Walker, S. y Landman, W. A. 2011. ENSO and implications on rainfall characteristics with reference to maize production in the Free State Province of South Africa. United Kingdom. Physics and Chemistry of the Earth. 36(14-15):715-726.
- Monasterio, P. P.; Pierre, F.; Barreto, T.; Marin, C.; Mora, O.; Tablante, J.; Masuret, W. y Mendoza, C. 2011. Influencia del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur sobre la precipitación y rendimiento del cultivo de maíz en el municipio Peña, estado Yaracuy, Venezuela. Venezuela. 61(1):59-72.
- NASA. 2017. Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio. La meteorología superficial y la energía solar. <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>.
- NOAA. 2017. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. Índice oceánico de El Niño. http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitorin/ensostuff/ensoyears.shtml.
- Pavia, E. G.; Graef, F. and Reyes, J. 2006. PDO-ENSO Effects in the climate of Mexico. EUA. J. Climate. 19(24):6433-6438.
- Pinilla, M. C. y Pinzón, C. 2012. Influencia del ciclo ENOS sobre la precipitación en los municipios de Betulia, San Vicente de Chucurí, Zapatoca y Girón, departamento de Santander, Colombia. España. In: 8º Congreso Internacional: 'Cambio climático: extremos e impactos'. 581-592 p.
- Ponvert-Delisle, R. D.; Lau A. y Balamaseda, C. 2007. La vulnerabilidad del sector agrícola frente a los desastres. Reflexiones generales. Perú. Zonas Áridas. 11(1):174-194.
- Ramírez-Builes, V. H. y Jaramillo-Robledo, A. 2009. Relación entre el índice oceánico de El Niño y la lluvia, en la región andina central de Colombia. Colombia. CENICAFÉ. 60(2):161-172.
- Ruiz-Cabarcas, A. C. y Pabón-Caicedo, J. D. 2013. 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). Colombia. Cuadernos de Geografía. Rev. Colomb. Geog. 22(2):35-54.
- 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. 141-145. Guadalajara, Jalisco, México. Libro técnico núm. 3. 324 p.
- Ruiz-C., J. A.; Medina, G. G.; González-A., I. J.; Flores-L., H. E.; Ramírez-O., G.; Ortiz-T., C.; Byerly-M. K. F. y Martínez-P., R. A. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Libro técnico núm. 3. 305-311 pp.
- Salinger, M. J.; Stigter, C. J. and Das, H. P. 2000. Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change. Netherlands. Agricultural and Forest Meteorology. 103(1-2):167-184.

- Shuai, J.; Zhang, Z.; Tao, F. and Shi, P. 2016. How ENSO affects maize yields in China: understanding the impact mechanisms using a process-based crop model. *International Journal of Climatology*. 36(1):424-438. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4360>.
- SIAP. 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción agrícola por estados. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.
- Vallejo-Nieto, M. I.; Gurri-García, F. D. y Molina-Rosales, D. O. 2011. Agricultura comercial, tradicional y vulnerabilidad en campesinos. *México. Política y Cultura*. 36(1):71-98.
- Zebiak, S. E.; Orlove, B.; Muñoz, A. G.; Vaughan, C.; Hansen, J.; Troy, T.; Thomson, M. C.; Lustig, A. and Samantha, G. 2014. Investigating El Niño-Southern Oscillation and society relationship. *Netherlands. Climatic Change*. <http://dx.doi.org/10.1002/wcc.294>.