

Respuesta del maíz al impacto ambiental ocurrido en las etapas de floración y ciclo vegetativo*

Maize response to the environmental impact occurred in the stages of flowering and vegetative cycle

Arturo Álvarez-Bravo¹, Víctor Antonio Vidal-Martínez^{2§}, José Irán Bojorquez-Serrano³ y Diego García-Paredes³

¹Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela, km. 9. Xalisco, Nayarit. C. P. 63780, México. (alvarez.arturo@lycos.com). ²Campo Experimental Santiago Ixcuintla-INIFAP. A. P. 100, Santiago Ixcuintla, Nayarit 63300, México. ³Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela, km 9. Xalisco, Nayarit. C. P. 63780. México. (iranbojorquez@hotmail.com; digapal@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: vidal.victorantonio@inifap.gob.mx.

Resumen

En México la influencia del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) sobre las condiciones meteorológicas gobierna el comportamiento de los cultivos en especial del maíz de temporal. Para la región productora de maíz de temporal en el estado de Nayarit, México; no se dispone de antecedentes que dimensionen esta supuesta influencia. El objetivo de esta investigación fue conocer el impacto de las fases del ENSO en función de algunas variables meteorológicas sobre el periodo de siembra a floración y por tipo de ciclo vegetativo del maíz. Se utilizó una base de datos fenológica de 15 años de registros de la región de Santa María del Oro donde el INIFAP ha ubicado evaluaciones periódicas desde 1998 de variedades comerciales de maíz. Cuantificándose la meteorología a través de las variables: precipitación pluvial, grados días de desarrollo, evapotranspiración potencial, días húmedos e índice de humedad; que a su vez fueron relacionados por ciclo vegetativo de las variedades de maíz y agrupadas según la fase del ENSO que prevaleció hasta la etapa fenológica de floración. Se identificó que las fases del ENSO influyen de manera diferida según el tipo de ciclo vegetativo. Los eventos Niña se caracterizaron por condiciones húmedas contrario a la fase Niño. Se encontró que las variedades precoces mostraron diferencias en precipitación entre las tres

Abstract

In Mexico, the influence of the phenomenon El Niño Southern Oscillation (ENSO) on the weather conditions governing the yield of crops, especially rainfed maize. For the maize producing region in the rainfed State of Nayarit, Mexico; there are no background that dimension the supposed influence. The objective of this research was to determine the impact of the phases of ENSO according to some meteorological variables on the period from planting to flowering and vegetative cycle. Phenological data base of 15 years of records from the region of Santa María del Oro where INIFAP has placed periodic assessments since 1998 of commercial maize varieties were used. Quantifying the meteorology through the variables: precipitation, degree days of development, potential evapotranspiration, humid days and moisture content; which in turn were related by growing cycle of maize varieties and grouped according to the stage of ENSO that prevailed until the phenological stage of flowering. It was found that, the phases of ENSO influence on a deferred basis depending on the growing season. The Niña events are characterized by wet conditions contrary to the Niño phase. It was found that the early varieties showed differences in rainfall between the three phases of ENSO while the intermediate and late phase is differentiated

* Recibido: octubre de 2014
Aceptado: febrero de 2015

fases del ENSO mientras que las intermedias y tardías solo se diferenciaron en fase Niño. Las fases del ENSO inciden de manera clara en algunas variables meteorológicas las cuales son importantes en el desarrollo del maíz en temporal.

Palabras clave: *Zea mays* L., ENSO, meteorología.

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) por sus siglas 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 ± 0.5 °C (Latif y Keenlyside, 2009; Maturana *et al.*, 2004).

Existen varios modelos llamados ‘índices’ que explican con cierto grado de precisión el comportamiento del ENSO; sin embargo, por norma entre los países norteamericanos se recomienda el uso del índice ONI (Índice Oceánico del Niño) 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 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 un aumento en la precipitación en la fase de floración y llenado de grano en maíz.

only the Niño. The phases of ENSO clearly impinge on some meteorological variables which are important in the development of maize under rainfed conditions.

Keywords: *Zea mays* L., ENSO, meteorology.

Introduction

Weather is the main environmental factor limiting crop productivity. These conditions are often modulated by synoptic scale weather events and global teleconnections as the phenomenon of El Niño Southern Oscillation (ENSO). For Salinger *et al.* (2000), ENSO is an important force of short-term of climate variability and responsible for changes in the ocean-atmosphere system, which reveal economic, social, environmental, political and academic implications as detailed by Zebiak *et al.* (2014). This phenomenon is characterized by the temperature anomaly in the equatorial Pacific Ocean surface in the region of 3.4 El Niño, the warm phase is known as El Niño which consists of a positive anomaly while La Niña is the cold phase or negative anomaly, the Neutral phase is when the anomaly ranges on mean values 26.8 ± 0.5 °C (Latif and Keenlyside, 2009; Maturana *et al.*, 2004).

There are several models called indexes that explain with a degree of accuracy the behaviour of the ENSO; however, as a rule among American countries, we use ONI (Oceanic Niño Index) index developed by the Climate Prediction Center of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The ONI is the moving average of the temperature anomaly of the sea surface in three consecutive months (Guevara-Díaz, 2008).

The use of indices that describe the phases of ENSO and its interaction with rainfall has been well documented, for example in South America, Pinilla and Pinzón (2012), Ramírez-Builes and Jaramillo-Robledo (2009), and Ruiz-Cabarcas and Pabón-Caicedo (2013), reported decreases in precipitation and increases in Niño phase during Niña phase. Similarly, the ENSO is related to the impact on crops such as Monasterio *et al.* (2011), pointed low yields in Niña phase mainly by an increase in precipitation in the flowering stage and grain filling in maize.

Similarly, De La Casa and Ovando (2006) found statistically positive anomalies in maize yield in El Niño and negative phase La Niña. In Mexico the impacts of ENSO have been

De igual manera De La Casa y Ovando (2006) encontraron estadísticamente 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.

Algunos cultivos serán muy afectados debido al incremento de las sequías extremas, la distribución errática de la precipitación o el temporal extremadamente húmedo a causa de fenómenos como el ENSO (FAO, 2010). La precipitación en particular su distribución temporal fue la que explica mejor la variabilidad del rendimiento de maíz (Llano y Vargas, 2011). 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 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 2.3 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2011).

En Nayarit se cultivan poco más de 40 mil ha de maíz de temporal que representa 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 del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), así como por ser de los municipios con mayores rendimientos (5 t ha⁻¹) y contar con una superficie establecida de más de 2 mil ha (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 las fases del ENSO 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.

sized by different authors, highlighting the work of Adams *et al.* (2003) who found in years El Niño decreased maize established surface and an increased price in contrast to years La Niña where price decreases because of an increase in production. This is closely related to the distribution of rainfall, this being confirmed by Méndez-González *et al.* (2007) and Pavia *et al.* (2006) which showed significant teleconnection between the phases of ENSO and monthly rainfall.

Some crops are severely affected due to increased extreme droughts, erratic rainfall distribution or extremely humid rainfed because of phenomena ENSO (FAO, 2010). Precipitation in particular its rainfed distribution best explains the variability of maize yield (Llano and Vargas, 2011). In Mexico, maize is not only important in food or industrial terms but also socially and culturally (cereals produced in Mexico is 65% maize). Similarly, the 8.5 million hectares of cultivated maize in Mexico, 88% are in the spring or summer seasonal cycle in this cycle are obtained on average 2.3 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2011).

In Nayarit, just over 40 thousand ha of rainfed maize representing 1.9% of the national area cultivated. While Santa María del Oro in Nayarit is important for assessments of maize by the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), as well as being of municipalities with higher yield (5 t ha⁻¹) and have an established area of over 2000 ha (SIAP, 2013). Despite the relative importance of the crop for the region, the impact of ENSO on meteorology in different phenological stages is not known yet. Analyse the impact of the phases of ENSO in some meteorological variables in the period from planting to flowering by type of vegetative cycle was the objective of the present work. The results provide support for decision-making by producers and technicians for selection of appropriate types of varieties rainfed depending on the stage of ENSO.

Materials and methods

Study area. The experimental site represents the rainfed maize belt in Nayarit, Mexico. It was located in the vicinity of the town San José de Mojarras, municipality Santa María del Oro at an elevation of 940 meters, where the moisture regime with strict rainfed between June and October.

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 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 de América 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 $\geq 0.5^{\circ}$ C), Fría o Niña (anomalía $\leq -0.5^{\circ}$ C) y neutro con anomalías entre -0.5° C y 0.5° C (NOAA, 2014).

Phenological data base. Originating from the Research Program of Maize by INIFAP. A database with 15 years of records was used from 98-99 to 12-13 cycle. This consisted of 344 records of commercial and regional varieties of maize, of which planting date (FS), flowering date (FF) were obtained. The following criteria were used to categorize the varieties according to their growth habit: ≤ 57 days early flowering, medium > 57 and < 62 days to flowering and late flowering ≥ 62 days.

Oceanic Niño index. From the website of the Climate Prediction Center of the National Oceanic and Atmospheric Administration United States, monthly data from oceanic Niño index concerning the region 3.4 were obtained (5° N- 5° S, 120° - 170° W), corresponding to the anomaly of the quarterly moving average. The values were classified into three phases: warm or El Niño ($\geq 0.5^{\circ}$ C anomaly), Cold or La Niña (anomaly $\leq -0.5^{\circ}$ C) and neutral with anomalies between -0.5° C and 0.5° C (NOAA, 2014).

Meteorological data. We used the available database of the National Weather Service station Cerro Blanco 18005 code that is located at coordinates north latitude $21^{\circ} 22' 36''$ west longitude $104^{\circ} 37' 06''$ at an elevation 965 m, which consisted of daily maximum temperature records (Tmax), minimum temperature (Tmin), average temperature (Tmed= (Tmax + Tmin)/2) and precipitation.

Cuadro 1. Fases del ENSO por ciclo de producción.
Table 1. Phases of ENSO per production cycle.

Temporada	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Fase
1998-1999	-0.2	-0.7	-1	-1.2	-1.3	-1.4	-1.5	Niña
1999-2000	-1	-1	-1.1	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	Niña
2000-2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.8	-0.8	Niña
2001-2002	-0.1	0	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	Neutro
2002-2003	0.7	0.8	0.8	0.9	1.2	1.3	1.3	Niño
2003-2004	-0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	Neutro
2004-2005	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	Niño
2005-2006	0.3	0.2	0.1	0	-0.2	-0.5	-0.8	Neutro
2006-2007	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1	1	Neutro
2007-2008	-0.3	-0.4	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.4	Niña
2008-2009	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.7	Neutro
2009-2010	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6	Niño
2010-2011	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5	Niña
2011-2012	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1	-1	Niña
2012-2013	0	0.1	0.4	0.5	0.6	0.2	-0.3	Neutro

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° 22' 36" y longitud oeste 104° 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: $T_b = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (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. Días húmedos (DH)= representa el número de días con precipitación mayor a 1mm. Índice simple de intensidad diaria de precipitación (ISIDP)= cantidad promedio de precipitación en días húmedos (P/DH). Índice de humedad (IH)= relación entre precipitación y la evapotranspiración potencial (P/ ET_0).

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 Pavia *et al.* (2006); Moeletsi *et al.* (2011); Ruiz-Cabarcas y Pabón-Caicedo (2013), donde las fases del ENSO contrastan principalmente en anomalías en precipitación siendo positivas para “Niña” y negativas en “Niño”.

Study variables. For the quantification of the weather in the vegetative stage of each variety and established cycle period "FS" to "FF" was considered. The variables were calculated as follows: precipitation (P)= precipitation amount accumulated in the period. Degree Days development (GDD)= $T_{med} - T_b$; where: $T_b = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Shaw, 1975; Ruiz *et al.*, 2011). Potential evapotranspiration (ET_0)= $0.0023 * (T_{med} + 17.78) R_a (T_{max} - T_{min})^{0.5}$; where: R_a = extraterrestrial solar radiation in mm/day. Humid days (DH)= represents the number of days with precipitation higher than 1 mm. Simple daily intensity index of precipitation (ISIDP)= average precipitation in wet days (P/DH) amount. Humidity Index (IH)= ratio of precipitation to potential evapotranspiration (P/ ET_0).

Data management. A database of growth habit, production cycle, yield and meteorological variables organized by phase ENSO was integrated.

Statistical analysis. In order to identify possible differences by phase ENSO an analysis of variance was used. When significant differences occurred, a comparison test was performed (Tukey with an alpha of 0.05% confidence level) using the statistical program Minitab version 16.

Results and discussion

The effect of the phenomenon of El Niño Southern Oscillation on meteorology in Santa María del Oro for the period from planting to flowering in rainfed maize in the 15 cycles analysed showed significant differences in the different phases. The La Niña was characterized by wetter conditions than normal contrast what happens in the El Niño phase, associated with drier conditions. This coincides with the findings of Pavia *et al.* (2006); Moeletsi *et al.* (2011); Ruiz-Cabarcas and Pabón-Caicedo (2013), where the phases of ENSO contrast mainly remained positive precipitation anomalies for La Niña and negative for El Niño.

The analysis of meteorological variables from FS to FF, distinguishing the phase of ENSO can be seen as rainfall (P) showed statistical differences between the three phases, La Niña episode has the highest cumulative amount in the period (43.6%), equivalent to 200 mm of difference to El Niño years had the lowest accumulation (467.36 mm). In regard to damp days (DH), years with El Niño phase had

El análisis de las variables meteorológicas desde FS hasta FF, distinguiendo la fase del ENSO, se puede observar como la precipitación pluvial (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). En lo que respecta a los días húmedos (DH), los años con fase Niño presentaron la menor cantidad con 30.77 días, mientras que los años Neutro y Niña no presentaron diferencias estadísticas entre sí (mayor a 38 días).

Índice simple de intensidad diaria de precipitación (ISIDP) presentó diferencias entre las tres fases siendo los años Niña los de mayor precipitación por día húmedo (17.19 mm) en contraste con los años Niño (15.24 mm). La evapotranspiración potencial (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. El índice de humedad (IH) evidenció diferencias estadísticas entre las distintas fases del ENSO, pero en términos de la clasificación del índice solamente, en fase Niño se transita por un ambiente "Húmedo-muy húmedo" en tanto que en años con fase Neutro y Niña el ambiente es "Muy húmedo". Finalmente, no se encontraron diferencias por fase del ENSO en los grados día de desarrollo acumulado (GDD) 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 influencia por los hábitos de crecimiento del cultivo, lo cual se constata con lo encontrado en el presente trabajo (Cuadro 2).

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) 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

the lowest amount with 30.77 days, while the neutral and La Niña years were not statistically different from each other (higher than 38 days).

Simple daily intensity index of precipitation (ISIDP) showed differences between the three phases being the fastest years La Niña wet day precipitation (17.19 mm) in contrast Niño years (15.24 mm). Potential evapotranspiration (ET_0) showed no difference between Niño and neutral years (> 320.9 mm); however, La Niña years were 9 mm lower with respect to El Niño. Moisture content (IH) showed statistical differences between the various stages of ENSO, but in terms of classification rate only in phase transits El Niño "wet-wet" environment whereas in years La Niña phase with neutral and the atmosphere is very wet. Finally, no differences were found for phase ENSO in development accumulated degree days (GDD) being the range found between 818.75 and 807.51 °C. Ruiz *et al.* (1999) quoting various authors indicated that maize thrives in multiple environmental conditions but, this plasticity is influenced by crop growth habits, which is found with those found in this study (Table 2).

Cuadro 2. Influencia del ENSO sobre variables meteorológicas desde siembra a floración en variedades mejoradas de maíz en temporal.

Table 2. Influence of ENSO on meteorological variables from sowing to flowering on improved maize varieties under rainfed conditions.

	Fase del ENSO		
	Niño	Neutro	Niña
Precipitación (P)	467.36c	641.60b	671.22a
Días húmedos (DH)	30.77b	38.96a	39.58a
Índice simple de intensidad diaria de precipitación (ISIDP)	15.24c	16.46b	17.19a
Evapotranspiración potencial (ET_0)	323.01a	320.94a	313.44b
Índice de humedad (IH)	1.45c	1.99b	2.16a
Grados día de desarrollo (GDD)	818.75a	808.75a	807.51a

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

Precipitation

The results of analysis of variance showed statistically significant differences in P. For early varieties in year La Niña, we recorded over 750 mm of rainfall at flowering (Figure 1), while in Neutral years for middle and late varieties

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, a esta etapa fenológica.

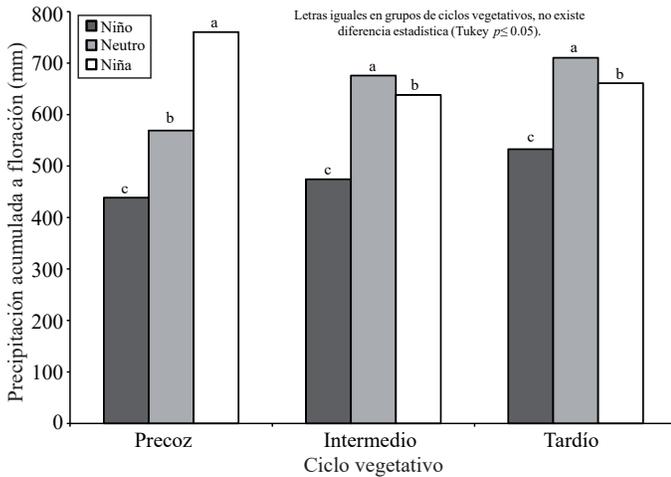


Figura 1. Precipitación acumulada a floración por ciclo vegetativo según fase del ENSO.

Figure 1. Cumulative precipitation on flowering per vegetative stage regarding ENSO.

Días húmedos

En lo que respecta al análisis por ciclo vegetativo, los años con fase Niño fueron los que acumularon menos DH (Figura 2). Las variedades de los ciclos intermedio y tardío no mostraron diferencias significativas entre años Neutro y Niña, mientras que las variedades precoces son estadísticamente diferentes entre las tres fases del ENSO.

Índice simple de intensidad diaria de precipitación

Las variedades con ciclo vegetativo intermedio no mostraron diferencias estadísticas por fase del ENSO, siendo el promedio 16 mm por evento de lluvia (Figura 3). Las variedades precoces en años con fase Niña mostraron diferencias con promedios mayores a 20 mm de precipitación en contraste con los años Niño y Neutro con promedios entre 15 y 17 mm. En las variedades tardías sobresalieron los años Neutro con promedios de precipitación por día de 17 mm a diferencia de años con fase Niño con 14 mm. La fase Niña no mostró diferencia estadística con las otras fases.

P accumulates over 650 mm. For the three growing seasons the years with El Niño phase accumulate less P from planting to flowering (420-520 mm). Works, such as those made by Granados-Ramírez and Sarabia-Rodríguez (2013) state that, the water requirements for rainfed maize should be above 400 mm at flowering, while Ruiz *et al.* (1999) and Ruiz *et al.* (2013) pointed out that maize thrives accumulated more than 600 mm in the complete cycle P. The results of this study show how these requirements are provided in the various stages of ENSO and the three vegetative only flowering cycles, so that in terms of P can be considered as a non-limiting factor for crop development in this region, on this phenological stage.

Wet days

In regard to the vegetative cycle analysis, the phase El Niño years accumulated less "DH" (Figure 2). The varieties of intermediate and late cycles showed no significant difference between Neutral and La Niña years, while early varieties are statistically different between the three phases of ENSO.

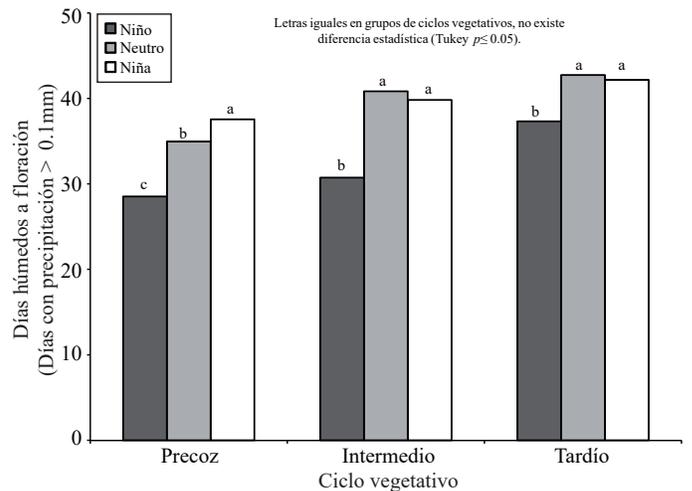


Figura 2. Días húmedos a floración por ciclo vegetativo según fase del ENSO.

Figure 2. Wet days to flowering per vegetative stage regarding ENSO.

Simple daily intensity index of precipitation

Varieties with intermediate growth cycle showed no statistical difference for phase ENSO, the average being 16 mm rainfall event (Figure 3). The early varieties in years La Niña showed higher mean differences with 20

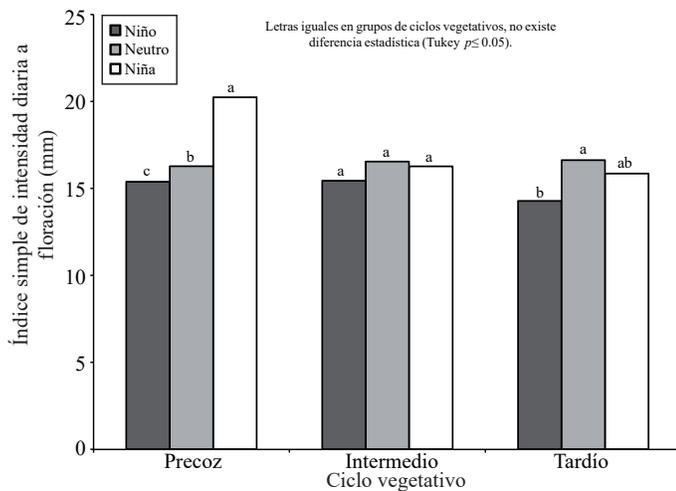


Figura 3. Índice simple de intensidad diaria a de precipitación por ciclo vegetativo según fase del ENSO.

Figure 3. Simple daily intensity index of growing season precipitation stage regarding ENSO.

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 4. 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.

Índice de humedad

En el análisis por ciclo vegetativo, en fase Niña se obtuvieron los promedios más altos de este índice en todos los hábitos (Figura 5). En las variedades intermedias y tardías, en las fases Neutro y Niña no se observaron diferencias significativas contrastando con la fase Niño, donde se obtuvieron los menores promedios. Ruiz *et al.* (2013a) identificaron 678 accesiones correspondientes a 24 razas nativas de maíz, las cuales resultaron adaptadas a ambientes áridos, a diferencia de lo anterior, este trabajo identificó que a pesar de la fase del ENSO, en el IH siempre se registraron valores mayores a 1.0 es decir ambiente húmedo, por lo que se puede inferir que en Nayarit se presentan mejores condiciones de humedad que en la regiones estudiadas por Ruiz *et al.* (2013b).

mm of precipitation in contrast with El Niño and neutral years, averaging between 15 and 17 mm. In late varieties Neutral excelled year with precipitation averages 17 mm per day unlike years El Niño with 14 mm stage. La Niña phase showed no statistical difference with the other phases.

Potential evapotranspiration

Late varieties showed no statistical difference for phase ENSO (320-350 mm). While the early and intermediate varieties, years with stage La Niña had the lowest averages in ET_0 as shown in the Figure 4. Teixeira *et al.* (2013) found for a region of Buenos Aires, Argentina that events ENSO is associated with positive anomalies in evapotranspiration under La Niña and negative for El Niño, contrary to the findings in Nayarit, though the ENSO is manifested in the southern region of the continent inversely to the north by what can be considered as a similarity between the regions.

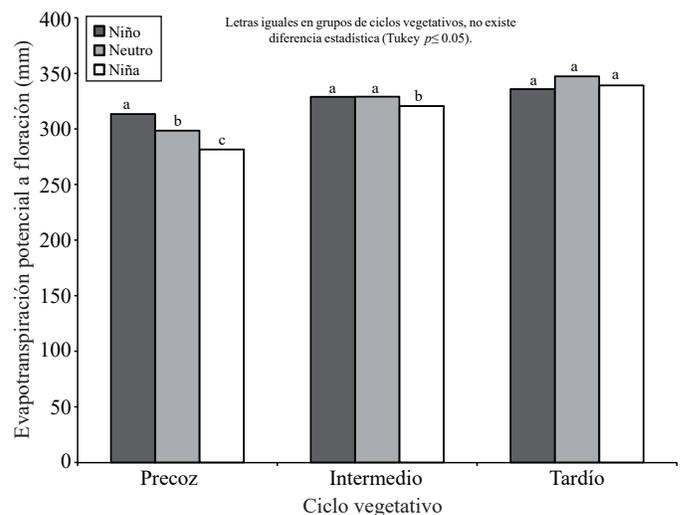


Figura 4. Evapotranspiración potencial a floración por ciclo vegetativo según fase del ENSO.

Figure 4. Potential evapotranspiration to flowering from vegetative cycle regarding ENSO.

Moisture content

In the vegetative cycle analysis in La Niña, the highest numbers in this index in all habits were obtained (Figure 5). In the middle and late varieties in the Neutral and La Niña phases, no significant differences in contrast to the Niño phase were observed, where the lowest averages were gathered. Ruiz *et al.* (2013a) identified

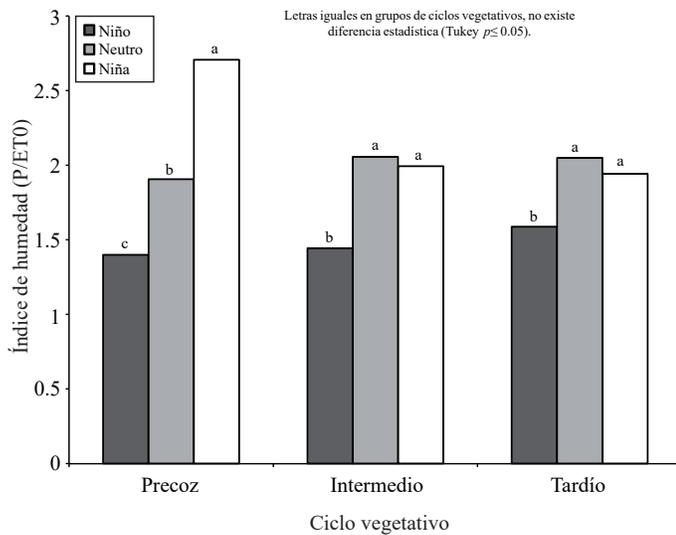


Figura 5. Índice de humedad por ciclo vegetativo según fase del ENSO.
Figure 5. Moisture index per vegetative cycle regarding ENSO.

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 6). Estos resultados coinciden con razas del grupo tropical precoces como Conejo, Zapalote Chico, Ratón y Nal-Tel, descritas por Ruiz *et al.* (2013a) Lo anterior permite especular sobre la plasticidad fenotípica presente en el maíz (amplia adaptación) en razas criollas y la vulnerabilidad de algunos maíces comerciales sobre lo específico de su hábito y ambiente de desarrollo (adaptación estrecha). 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.

Conclusiones

Se identificó la influencia del fenómeno de “El Niño Oscilación del Sur” sobre la meteorología en la región productora de maíz de temporal en Nayarit, México en el periodo siembra-floración. Las fases de este fenómeno inciden

678 accessions representing 24 maize landraces, which they were adapted to arid environments, unlike the above, this study identified that although phase ENSO in the "IH "ever higher values were recorded at 1, i.e. moist environment, so it can be inferred that better moisture conditions are presented in Nayarit in the regions studied by Ruiz *et al* (2013b).

Degree days development

Late varieties accumulated more than 850 "GDD" at any stage ENSO. The early accumulated between 760-790 "GDD", being in Neutral years where the accumulation was significantly lower (760 GDD) and finally the intermediate varieties between 810-830 "GDD". These were in the years with El Niño phase which accumulated more "GDD" in the three growing seasons (Figure 6). These results agree with rain early group races such as Conejo, Zapalote Chico, Ratón and Nal-Tel, described by Ruiz *et al.* (2013a). This allows us to speculate on the phenotypic plasticity present in maize (wide adaptation) in landraces and the vulnerability of some commercial maize on the specifics of their habit and development environment (close match). Mercer and Perales (2010) concluded that landraces are better adapted to changing environmental conditions due to their larger genetic variation that confers them phenotypic plasticity to adapt to unfavourable environments.

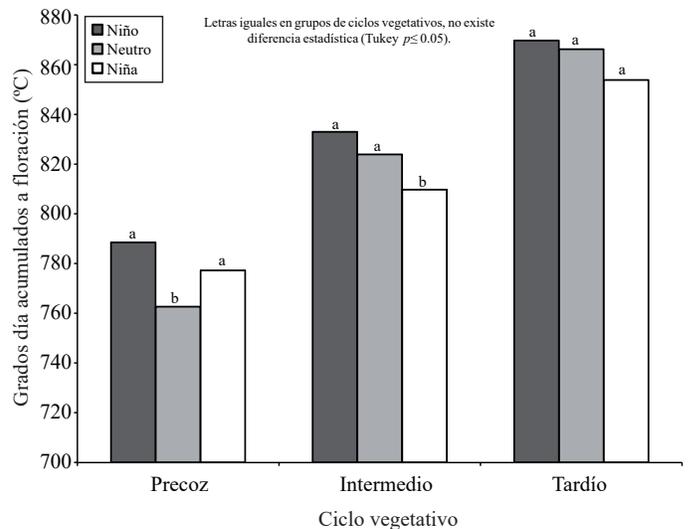


Figura 6. Grados día de desarrollo a floración por ciclo vegetativo según fase del ENSO.
Figure 6. Degree days of development to flowering per vegetative cycle regarding ENSO.

de manera diferida según el tipo de ciclo vegetativo del maíz establecido en temporal. Los eventos Niña se caracterizaron por condiciones predominantemente húmedas en tanto que la fase Niño fue significativamente menor en los cinco indicadores relacionados con la humedad. No existieron diferencias estadísticas entre fases con respecto a la acumulación de GDD. La precipitación al ser dominada por la fase del ENSO mostró una meteorología en los cinco indicadores relacionados con ella, diferencias estadísticas con respecto a los ciclos vegetativos, siendo las variedades precoces las que mostraron marcadas diferencias entre las tres fases.

En tanto que las intermedias y tardías solo se diferenciaron en fase Niño (condiciones menos húmedas). Los resultados abren la posibilidad de continuar con trabajos que consideren el resto de las etapas fenológicas del cultivo con el objetivo de caracterizar las condiciones en que se produce el maíz de temporal. Con todo lo anterior se puede concluir que las fases del ENSO inciden de manera clara en algunas variables meteorológicas las cuales son importantes en el desarrollo del cultivo, lo que puede ser utilizado como un incipiente sistema de alerta temprana en combinación con los modelos de pronósticos del ENSO que publica de manera mensual el Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento del INIFAP y la Universidad Autónoma de Nayarit, así como al CONACyT por la beca otorgada al primer autor. 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.; Matus, G. M. J. and Weiher, R. F. 2003. The benefits to Mexican agriculture of an El Niño-southern oscillation (ENSO) early warning system. Netherlands. *Agric. Forest Meteorol.* 115:183-194.
- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). 2014. http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.
- 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. Revista Colombiana de Geografía.* 22(2):35-54.
- 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. *Agric. Téc.* 66(1):80-89.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2010. El cambio climático y sus repercusiones en la producción agrícola, forestal y pesquera en América Latina y El Caribe. 31ª Conferencia regional de la FAO para América Latina y El Caribe. 16 p.
- Granados-Ramírez, R. y Sarabia-Rodríguez, A. A. 2013. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(4):435-446.
- 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.
- 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 (PNAS).* 106(49):20578-20583.

Conclusions

The influence of the phenomenon of El Niño Southern Oscillation on meteorology in the production region of rainfed maize in Nayarit, Mexico in the period from planting to flowering was identified. The phases of this phenomenon affect deferred according to the type of maize vegetative cycle, established under rainfed conditions. The La Niña events are characterized by predominantly wet conditions while the El Niño phase was significantly lower in the five moisture related indicators. There were no statistical differences between phases with respect to the accumulation of GDD. Precipitation being dominated by the phase ENSO, showed five meteorology associated with it, statistical differences with respect to the vegetative cycle indicators, with the early varieties which showed marked differences between the three phases.

While the intermediate and late phase differed only in El Niño (under less humid conditions). The results open the possibility of continuing to work to consider the rest of the phenological stages of the crop in order to characterize the conditions for rainfed maize. With all this we can conclude that, the phases of ENSO influence clearly in some meteorological variables which are important in the development of the crop, which can be used as a nascent early warning system combined with forecasts models of ENSO, published on a monthly basis by the International Research Institute for Climate and Society.

End of the English version



- Llano, M. P. y Vargas, W. 2011. Brasil. Relación clima-rendimiento del maíz mediante el uso de un modelo estadístico. XVII Congreso Brasileiro de Agrometeorología.
- Maturana, J.; Bello, M. y Manley, M. 2004. Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. El Niño-La Niña 1997-2000. Sus Efectos en Chile. Valparaíso, Chile. 13-27 pp.
- 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. U.S.A. *Evol. Appl.* 3(5-6):480-493.
- Moeletsi, M. E.; Walker, S. and 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.; Maturat, 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.
- Pavia, E. G.; Graef, F. y Reyes, J. 2006. PDO-ENSO Effects in the climate of Mexico. E.U.A. *J. Climate.* 19:6433-6438.
- 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. 8º Congreso Internacional: "Cambio climático: extremos e impactos". 581-592.
- 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 -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. 2013a. Ecología y distribución actual y potencial de razas mexicanas de maíz. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Libro técnico Núm. 5. 149 p.
- 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. 2013b. Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(4):829-842.
- 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.
- Salinger, M. J.; Stigter, C. J. and Das, H. P. 2000. Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change. Netherlands. *Agric. Forest Meteorol.* 103:167-184.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2011. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012. México, D.F., México. 208 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2013. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Texeira-Soria, P.; Pannunzio, A. y Borello, L. 2013. 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. España. *Rev. Climatol.* 13:27-34.
- Zebiak, S. E.; Orlove, B.; Muñoz, A. G.; Vaughan, C.; Hansen, J.; Troy, T.; Thomson, M. C.; Lustig, A. and Garvin, S. 2014. Investigating El Niño-Southern oscillation and society relationship. Netherlands. *Climatic Change.* doi: 10.1002/wcc.294.