

## **Modelo de vulnerabilidad y riesgo de la producción de maíz de temporal en Nayarit, México\***

### **Vulnerability and risk model of rainfed maize production in Nayarit, Mexico**

**José Irán Bojórquez-Serrano<sup>1</sup>, Arturo Álvarez-Bravo<sup>2</sup>, Víctor Antonio Vidal-Martínez<sup>2§</sup>, Víctor Magaña-Rueda<sup>3</sup> y Susana Marcelaño-Flores<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura Amado Nervo, C. P. 63190. Tepic, Nayarit. (iranbojorquez@hotmail.com; smlmarcel@hotmail.com). <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias- Campo Experimental Santiago Ixcuintla Nayarit, México C. P. 63300 (alvarez.arturo@inifap.gob.mx; vidal.victorantonio@inifap.gob.mx). <sup>3</sup>Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Geografía, Ciudad Universitaria, México, D. F. (victormr@unam.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: vidal.victorantonio@inifap.gob.mx.

#### **Resumen**

En los últimos años se ha incrementado la recurrencia de los impactos de fenómenos meteorológicos en México. Esto ha detonado la exigencia de un mejor entendimiento de la vulnerabilidad y el riesgo ante eventos de este tipo, particularmente en el sector agropecuario. En Nayarit se tiene documentada en serie de tiempo, los impactos a la producción de maíz de temporal (rendimientos promedios municipales), sin embargo no se ha cuantificado el grado de vulnerabilidad ni el nivel de riesgo de esta actividad económica. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el grado de vulnerabilidad y el riesgo de la zona productora de maíz de temporal en el estado de Nayarit, México. Se utilizó la “Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático”, en tres etapas: 1) conocer el quien, a qué y por qué la zona productora de maíz es vulnerable; 2) se modeló mediante indicadores la dinámica del objeto vulnerable; y 3) se validó el modelo de vulnerabilidad y riesgo. Con lo anterior, se identificó a la precipitación de verano como el factor de peligro, en tres niveles de intensidad con su respectivo impacto en el rendimiento en términos de probabilidad. Asimismo, mediante una selección de indicadores de vulnerabilidad para tres tipos de factores: físicos, económicos y sociales,

#### **Abstract**

In recent years it has increased the impact of weather phenomena in Mexico. This has triggered the need for a better understanding of the vulnerability and risk to such events, particularly in the agricultural sector. In Nayarit it has been documented in time series, the impacts to rainfed maize production (municipal average yields), but has not been quantified the degree of vulnerability and the risk level of this economic activity. The aim of this study was to assess the vulnerability and risk of the maize producing area under rainfed in the state of Nayarit, Mexico. The "Methodological Guide for the Assessment of Vulnerability to Climate Change" was used in three stages: 1) know who, what and why the maize-producing area is vulnerable; 2) it was modeled through indicators the dynamics from the vulnerable object; and 3) the vulnerability and risk model was validated. With this, the summer precipitation and the danger factor in three levels of intensity with their respective impact on yield in terms of probability were identified. Also through a selection of vulnerability indicators for three factors: physical, economic and social, was possible to generate through a multiple linear regression model the corresponding equation that allowed explaining the dynamics of maize grain yield under rainfed. By feeding

\* Recibido: noviembre de 2015  
Aceptado: febrero de 2016

fue posible generar a través de un modelo de regresión lineal múltiple la correspondiente ecuación que permitió explicar la dinámica del rendimiento de grano del maíz de temporal. Al alimentar este modelo con datos de la serie de tiempo 1980-2012, se generó y validó un modelo de riesgo, el cual al seleccionar el año 2010, permitió representar e identificar la distribución de la vulnerabilidad municipal para la precipitación pluvial como el factor de riesgo en estudio.

**Palabras clave:** cambio climático, indicadores, variabilidad climática.

## Introducción

El hombre en el último siglo ha sido testigo de grandes avances tecnológicos, cambios ambientales así como un aumento progresivo del nivel de vulnerabilidad ante fenómenos naturales. El uso de la información y la tecnología puede coadyuvar a la toma de decisiones bajo un esquema climáticamente inteligente que disminuya los impactos de las amenazas, es decir, una disminución de la vulnerabilidad. Para el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007) la vulnerabilidad es el grado de susceptibilidad e incapacidad de un sistema para contrarrestar la adversidad climática, la cual incluye la variabilidad climática y los eventos extremos.

América Latina y el Caribe es vulnerable a fenómenos meteorológicos y climáticos como huracanes, sequías y el fenómeno de El Niño, lo que de manera directa incide en la producción agrícola de la región (BID, 2012). 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).

Ponvert-Delisle *et al.* (2007), señalan a la naturaleza como la proveedora de las desgracias que aquejan a la sociedad; sin embargo, ni los desastres ni las pérdidas en las actividades productivas como la agricultura son responsabilidad de la naturaleza, del mismo modo los autores recomiendan un esquema donde la prevención a través de un modelo de gestión de riesgo multifactorial permita disminuir la vulnerabilidad asociada al riesgo y no al "desastre natural".

Al coincidir que no solamente el ambiente es el responsable de fluctuaciones estacionales del rendimiento, también se han encontrado otros agentes como el mercado o fenómenos

the model with data from the time series 1980-2012, it was generated and validated a risk model, which by selecting year 2010, allowed to represent and identify the vulnerability distribution of the municipality to rainfall as risk factor under study.

**Keywords:** climate change, climate variability, indicators.

## Introduction

Man has witnessed great technological advances, environmental changes and a gradual increase in the level of vulnerability to natural disasters in the last century. The use of information and technology can contribute to decision-making under a climate smart scheme to decrease the impact of threats, i.e., a decrease of vulnerability. For the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) vulnerability is the susceptibility degree and inability of a system to counter climate adversity, including climate variability and extreme events.

Latin America and the Caribbean is vulnerable to meteorological phenomenon's and climate events such as hurricanes, droughts and El Niño, which directly affects agricultural production in the region (IDB, 2012). In rainfed areas with marginal production systems, yields will be committed to annual changes in precipitation, resulting in years with contrasting yields (Vallejo-Nieto *et al.*, 2011).

Ponvert-Delisle *et al.* (2007) points nature as the provider of the misfortunes that afflict society; however, no disasters or losses in productive activities such as agriculture are nature's responsibility, just as the authors recommend a scheme where prevention through a multifactorial risk management model allows to reduce the vulnerability associated with risk and not to "natural disaster".

Agreeing that not only environment is responsible for seasonal fluctuations in yield, it has also been found other agents such as market or social phenomena (immigration, economic crisis, etc.) (González-Acuña *et al.*, 2002). In this regard González-Rojas *et al.* (2011), using an econometric model, concluded that international corn market has a strong influence over national, conditioning the price fluctuation and thereby exacerbates vulnerability.

sociales (migración, crisis económicas, etc.) (González-Acuña *et al.*, 2002). En este sentido González-Rojas *et al.* (2011), utilizando un modelo econométrico concluyeron que el mercado internacional de maíz tiene una fuerte influencia sobre el nacional que condiciona la fluctuación del precio y con ello exacerba la vulnerabilidad.

Otro aspecto importante es el conglomerado social que envuelve al sector agrícola, el cual tiene características socio-demográficas particulares. Esta componente y el clima son las que le confieren al sistema producto maíz el dinamismo temporal y espacial que le caracteriza, por ello se ha propuesto por diversos autores Zamudio-Sánchez *et al.*, 2008; Fawaz-Yissi y Vallejos-Cartes, 2011) el uso de indicadores para dimensionar el desarrollo económico y comunitario cuantitativa y cualitativa-mente.

Ante este escenario multifactorial que se aborda es que Magaña (2013), propone un modelo sencillo donde se selecciona el mejor indicador para tres factores: económico, social y físico (este último relacionado con el quehacer productivo).

Existen diferentes estudios que reportan mapas de vulnerabilidad regional para cultivos de temporal mediante modelos de vulnerabilidad y riesgo que utilizan datos de rendimiento del cultivo y datos socioeconómicos (Antwi-Agyei *et al.*, 2012; Jayanthi *et al.*, 2013; Malcomb *et al.*, 2014; Krishnamurthy *et al.*, 2014).

El caso de estudio, la región productora de maíz de temporal carece de infraestructura de riego, por tanto existe una dependencia de un "buen temporal" (cantidad y distribución adecuada de las lluvias) para la obtención de rendimientos comercialmente competitivos. Por lo que, el objetivo del presente trabajo fue elaborar un modelo de vulnerabilidad y riesgo, enfocado a la región de producción de maíz de temporal, en el estado de Nayarit, México, utilizando el enfoque propuesto por Magaña (2013). Se espera que los resultados abonen a una mejor comprensión del grado de vulnerabilidad del sector agrícola nayarita y sea referente para la toma de decisiones en el diseño de políticas públicas de gestión de riesgo.

## Materiales y métodos

El presente trabajo se utilizó como principal referencia la "Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático" (Magaña, 2013), la cual se basa en

Another important aspect is the social structure that *surrounds* the agricultural sector, which has particular socio-demographic characteristics. This component and climate are those that give the corn product system the rainfed and spatial dynamism that characterizes it, for it has been proposed by various authors (Zamudio-Sánchez *et al.*, 2008; Fawaz-Yissi and Vallejos-Cartes, 2011), the use of indicators to measure the economic and community development in a quantitative and qualitative manner.

Given this multifactorial scenario Magaña (2013), proposes a simple model where the best indicator is selected for three factors: economic, social and physical (the latter related to production activities).

There are several studies reporting regional vulnerability maps for rainfed crops through vulnerability and risk models using crop yield data and socioeconomic data (Antwi-Agyei *et al.*, 2012; Jayanthi *et al.*, 2013; Malcomb *et al.*, 2014; Krishnamurthy *et al.*, 2014).

The case study, a rainfed maize producing region lacks irrigation infrastructure, so there is a dependence of a "good weather" (adequate quantity and distribution of rainfall) to obtain commercially competitive yields. So, the aim of this study was to develop a model of vulnerability and irrigation, focused to the rainfed maize production region in the state of Nayarit, Mexico, using the approach proposed by Magaña (2013). It is expected that the results will help to a better understanding of the vulnerability of the Nayarit agricultural sector and as reference for decision-making in the design of public policies for risk management.

## Materials and methods

This paper used as main reference the "Methodological Guide for the Assessment of Vulnerability to Climate Change" (Magaña, 2013), which is based on three steps: 1) characterize the object of study and the factors that affect it in order to create a scheme to model its interaction with climate over a period of time; 2) Explain through indicators the dynamics of the object of study; and 3) test the model with risk and impacts of time series according to thresholds defined as alarming.

Database. The database from the National Meteorological Service (SMN) with daily rainfall information from the station 18 005, located in the municipality of Santa Maria

tres pasos: 1) Caracterizar el objeto de estudio y los factores que inciden en él con el objetivo de crear un esquema que modele su interacción con el clima en un periodo de tiempo; 2) Explicar mediante indicadores la dinámica del objeto de estudio; y 3) Probar el modelo con series de tiempo de riesgo e impactos según los umbrales definidos como alarmantes.

**Bases de datos.** Se dispuso de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) con información diaria de precipitación de la estación 18 005, ubicada en el municipio de Santa María del Oro, Nayarit. Con el fin de caracterizar el régimen de temporal en la región productora de maíz en el estado de Nayarit, se acumularon los datos de precipitación diaria de los meses de junio a noviembre. Los datos de rendimiento estatal se obtuvieron del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), dependiente de la SAGARPA (SIAP, 2014). La colección de datos fue de 33 años a partir del ciclo 1980-1981 hasta el ciclo 2012-2013.

**La precipitación vista como peligro.** Se organizaron los datos de precipitación anual en terciles y se calculó la incidencia porcentual de la precipitación y se relacionó con el rendimiento mediante un cuadro de doble entrada.

**Identificación de la vulnerabilidad.** Se realizó una búsqueda iterativa en distintas bases de datos con el fin de crear una colección de indicadores sociales, económicos y del medio físico relacionados con el sector agrícola de maíz de temporal. Los datos se organizaron en el programa Microsoft Excel versión 2010 de manera cronológica buscando siempre que los datos cubrieran la serie de tiempo 1980-2012. Las bases de datos exploradas provinieron de instituciones como INEGI, CONAPO, SAGARPA, SE, SHCP y BANXICO a través de diferentes indicadores. El criterio de selección fue el que mejor relación tuvo con el rendimiento de maíz promedio anual expresado mediante el coeficiente de determinación ( $r^2$ ).

**Modelo de vulnerabilidad.** Para la generación del modelo matemático que permita explicar la dinámica del rendimiento de maíz de temporal en la zona de estudio utilizando solo tres indicadores se utilizó el software estadístico Minitab versión 16.2.4, mediante el método de regresión lineal múltiple. Así mismo se calculó el coeficiente estandarizado de cada indicador en el modelo con el fin de conocer el peso ponderado que cada variable aporta al modelo.

del Oro, Nayarit was used. In order to characterize the rainfed maize producing region in the state of Nayarit, daily rainfall data for the months of June through November were accumulated. State yield data were obtained from the State Service for Food and Fisheries Information (SIAP) under the SAGARPA (SIAP, 2014). Data collection was 33 years from 1980-1981 to 2012-2013.

**Rainfall seen as risk.** Annual precipitation data were organized into tertiles and the incidence of precipitation percentage was calculated and related to yield by a double-entry table.

**Identifying vulnerability.** An iterative search in different databases was made in order to create a collection of social, economic and physical environment indicators related to the agricultural sector of rainfed maize. The data was organized in Microsoft Excel version 2010 chronologically, always looking for the time series data from 1980-2012. The bases from explored data came from institutions such as INEGI, CONAPO, SAGARPA, SE, SHCP and Banxico through different indicators. The selection criterion was the one with best relationship with the annual average maize yield expressed by the coefficient of determination ( $r^2$ ).

**Vulnerability model.** For the generation of mathematical model to explain the dynamics of rainfed maize yield in the study area using only three indicators, the Minitab statistical software version 16.2.4 was used through multiple linear regressions. Also the beta coefficients of each indicator in the model were calculated in order to meet the weighted arithmetic mean that each variable contributes to the model.

**Validation of vulnerability model.** In order to validate the model output, the coefficient of correlation between the observed data (yield from SIAL database) and the predicted by the model were calculated.

**Risk model.** Risk is the product of the probability of the presence of a threat and vulnerability. The model was validated graphically, exposing the dynamics of vulnerability, danger and risk associated with impacts on rainfed maize production (yield decrease).

**Mapping.** To test the functionality of the model at space level, 2010 data were entered in the three selected factors. Then the weighted value of each factor was weighted according to

Validación del modelo de vulnerabilidad. Con el fin de validar la salida del modelo, se calculó el coeficiente de correlación entre los datos observados (rendimiento de la base de datos del SIAP) y los predichos por el modelo.

Modelo de riesgo. El riesgo es el producto de la probabilidad de la presencia de la amenaza y la vulnerabilidad. El modelo se validó gráficamente, exponiendo la dinámica de vulnerabilidad, el peligro y el riesgo, asociado a los impactos en la producción de maíz de temporal (disminución del rendimiento).

Representación cartográfica. Para comprobar la funcionalidad del modelo a nivel espacial, se introdujeron datos a 2010 de los tres factores seleccionados. Posteriormente se ponderó el valor de cada factor según el peso específico en el modelo. Finalmente se sumaron los pesos ponderados, se organizaron de menor a mayor y se crearon tres clases del nivel de vulnerabilidad (bajo, medio y alto) con una amplitud del rango de cada clase de 0.09. Para la representación cartográfica se empleó el sistema de información geográfica Arc Map versión 10, donde se creó un mapa temático donde se indican las tres clases por colores (rojo= alta vulnerabilidad, medio vulnerabilidad= amarillo y verde= baja vulnerabilidad).

## Resultados y discusión

El modelo de vulnerabilidad para la producción de maíz de temporal en el estado de Nayarit, México explica de manera consistente la dinámica de los rendimientos anuales en la serie de tiempo estudiada en el presente trabajo.

### El peligro

La precipitación acumulada en el ciclo productivo de verano explica en buena medida los rendimientos en la zona temporalera de maíz en Nayarit. Cuando la precipitación fue menor a 1 050 mm se clasificó como “baja” y “alta” cuando fue mayor a 1 120 mm. Por otro lado, los rendimientos se clasificaron como “bajo” menores a 2.6 t ha<sup>-1</sup> y “alto” mayores a 3.3 t ha<sup>-1</sup>, en ambos casos el rango intermedio entre las dos clases se consideró “medio”. Cuando la precipitación se clasifica como “Baja”, el 81% de los años los rendimientos fueron menores 3.3 t ha<sup>-1</sup>. En contraste cuando se clasifica como “Alta” el 45% de los años reportaron rendimientos superiores a 3.3 t ha<sup>-1</sup>. En años cuando la precipitación fluctúa

the specific weigh in the model. Finally weighted arithmetic means were added, organized from lowest to highest and three classes of vulnerability level (low, medium and high) were created with an amplitude range of each class of 0.09. For mapping the GIS ArcMap version 10 was used, where a thematic map was created, where the three classes per color (red= high vulnerability, medium vulnerability= yellow and green= low vulnerability) are indicated.

## Results and discussion

The vulnerability model for rainfed maize production in the state of Nayarit, Mexico consistently explains the dynamics of the annual yields on the time series studied in this paper.

### The risk

The accumulated rainfall in the summer production cycle largely explains yields in the rainfed corn area from Nayarit. When precipitation was less than 1050 mm it was classified as "low" and "high" when it increased to 1 120 mm. On the other hand, yields were classified as "low" under 2.6 t ha<sup>-1</sup> and "high" greater than 3.3 t ha<sup>-1</sup>, in both cases the intermediate range between the two classes is considered "medium". When precipitation is classified as "low", 81% of the years the yields were lower 3.3 t ha<sup>-1</sup>: in contrast when it is classified as "high" 45% of the years reported yields above 3.3 t ha<sup>-1</sup>. In years when the rainfall varies between 1 050 and 1 120 mm, 70% of years reported yields above 2.6 but lower than 3.3 t ha<sup>-1</sup> (Table 1).

The critical threshold to be used in the risk model will be the probability that low yield presents (<2.6 t ha<sup>-1</sup>) in the range of low precipitation (<1 050 mm) this is 36.4.

### Vulnerability

The vulnerability of rainfed agriculture to weather fluctuations has changed and improved over the past two decades, not only in Nayarit, but in much of the country. Therefore, it is required to document the behavior of vulnerability as a key factor when it comes to analyzing the risk of agriculture to variability in rainfall, as suggested by Magaña (2013).

The study area has low technology for agricultural work (INEGI, 2007), soils have low fertility (González-Acuña *at al.*, 2002) or, conversely, those with high fertility have a different land use than rainfed corn, high claims and poor

entre 1 050 y 1 120 mm, el 70% de los años se reportaron rendimientos superiores a 2.6 pero menores a 3.3 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 1).

culture for disaster prevention, as crop insurance (INEGI, 2013). The years with highest incidence of disaster area are related with hurricanes or drought (Figure 1). However, the

**Cuadro 1. Clasificación de la incidencia porcentual de la precipitación y el rendimiento en Nayarit.**

**Table 1. Classification of the percentage incidence of precipitation and yield in Nayarit**

		Precipitación (mm)		
		Baja (<1050)	Media (>1 050 y <1 120)	Alta (>1 120)
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Bajo (<2.6)	36.4	27.2	36.4
	Medio (> 2.6 y < 3.3)	45.4	36.4	18.2
	Alto (>3.3)	18.2	36.4	45.4

El umbral crítico a utilizar en el modelo de riesgo será la probabilidad de que se presente un rendimiento bajo (<2.6 t ha<sup>-1</sup>) en el rango de precipitación baja (<1 050mm) esto es 36.4.

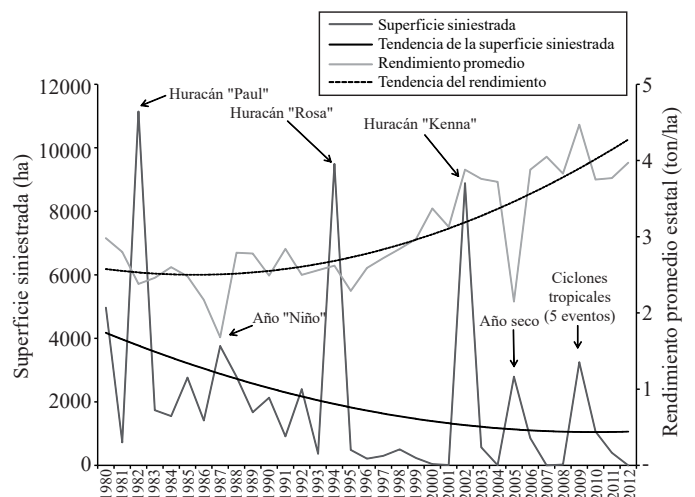
### La vulnerabilidad

La vulnerabilidad de la agricultura de temporal a las fluctuaciones del clima ha cambiado y mejorado en las dos últimas décadas, no sólo en Nayarit, sino en gran parte del país. Por ello, se requiere documentar el comportamiento de la vulnerabilidad como factor fundamental cuando se trata de analizar el riesgo de la agricultura a la variabilidad en las lluvias, como lo sugiere Magaña (2013).

La zona de estudio presenta baja tecnificación para las labores agrícolas (INEGI, 2007), los suelos tienen baja fertilidad (González-Acuña *et al.*, 2002) o por el contrario, los que cuentan con alta fertilidad tienen un uso de suelo distinto al de maíz de temporal, alta siniestralidad y escasa cultura de prevención de desastres, como el seguro agrícola (INEGI, 2013). Los años con mayor incidencia de superficie siniestrada están relacionados con huracanes o sequía (Figura 1). Sin embargo, la superficie siniestrada ha descendido desde 1980 en 50%. Por otra parte, el rendimiento muestra una tendencia positiva pasando de 2.5 t ha<sup>-1</sup> promedio en 1980 a poco más de 4 t ha<sup>-1</sup> en la actualidad.

Al mismo tiempo los factores económicos, por ejemplo el tipo de cambio del peso contra el dólar, tienen un impacto considerable en la actividad ya que el dólar gobierna el precio de compra como lo señalan González-Rojas *et al.* (2011), el precio de los insumos (fertilizantes, insecticidas, herbicidas, etc.), así como el precio de la semilla. En la dinámica de la

disaster area has decreased since 1980 in 50%. Moreover, yield shows a positive trend going from 2.5 t ha<sup>-1</sup> average yields in 1980 to more than 4 t ha<sup>-1</sup> nowadays.



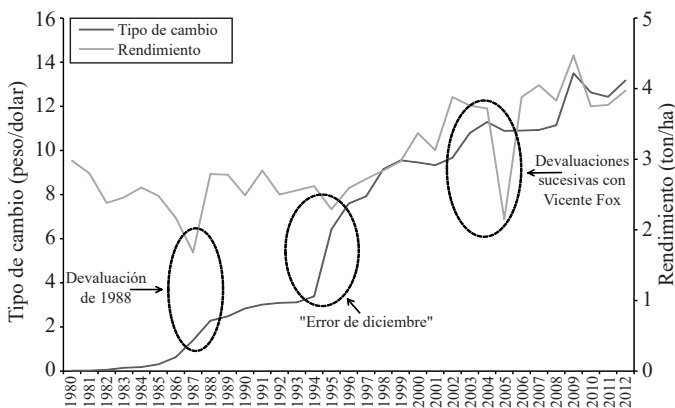
**Figura 1. Tendencia de la superficie siniestrada y el rendimiento de maíz de temporal en el estado de Nayarit.**

**Figure 1. Trend in disaster and yield area of rainfed maize in the state of Nayarit.**

At the same time, the economic factors, for example the exchange rate of peso to dollar, have a significant impact on the activity as dollar governs the purchase price as pointed out by González-Rojas *et al.* (2011), the price of inputs (fertilizers, insecticides, herbicides, etc.) and seed price. In the dynamics of the activity, measured through rainfed maize yields, a negative impact is noticed when the exchange rate experiences significant changes (Figure 2).

This suggests that producers do not use high cost seeds (and better yield), do not apply full dose of fertilizer or pesticides or herbicides and all in detriment of yield (Figure 3).

actividad, medida a través de los rendimientos del maíz de temporal, se advierte un impacto negativo cuando el tipo de cambio experimenta cambios significativos (Figura 2).



**Figura 2. Tipo de cambio peso frente al dólar y el rendimiento estatal de maíz en Nayarit.**

**Figure 2. Exchange rate of peso to dollar and state corn yield in Nayarit.**

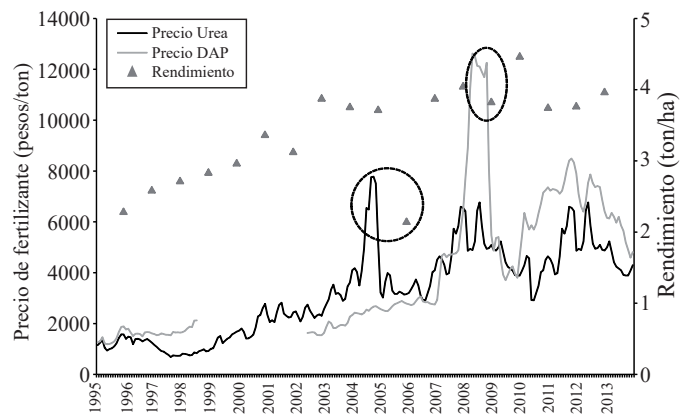
Lo anterior hace suponer que los productores no utilizan semillas de alto costo (y mejor rendimiento), no aplican la dosis completa de fertilizante o no aplican insecticidas o herbicidas y todo ello en menoscabo del rendimiento (Figura 3).

**Indicadores de vulnerabilidad**

Los indicadores explorados por factor se muestran en el Cuadro 2, siendo los seleccionados para caracterizar al factor social: Índice de envejecimiento de la población en localidades rurales, que consiste en la relación entre personas mayores de 65 años y las menores de 15 años. Para el factor económico fue: tipo de cambio, el cual tiene como principio el describir la relación entre el peso mexicano frente al dólar estadounidense (para muchas aplicaciones prácticas el tipo de cambio es indicador de la devaluación del peso o el nivel de la capacidad de compra de bienes importados como insumos agrícolas). Finalmente para el factor físico se seleccionó: la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, la cual es un indicador de la fertilidad del suelo en términos de la capacidad de éste para suministrar los minerales requeridos por la planta para su crecimiento y desarrollo en términos productivos.

**El modelo de vulnerabilidad**

En el Cuadro 3 se pueden observar los estadísticos del modelo de regresión lineal múltiple. De acuerdo a los resultados, el aporte ponderado a la ecuación del coeficiente estandarizado de cada variable fue: físico (44.8%), social (38.2%) y económico (17%). La ecuación de regresión que se generó fue:



**Figura 3. Precio de los principales fertilizantes utilizados en maíz y su relación con el rendimiento.**

**Figure 3. Rates of major fertilizers used in corn and their relationship with yield.**

**Vulnerability indicators**

The indicators explored by factor are shown in Table 2, being these selected to characterize the social factor: aging population index of rural areas, which is the ratio between people over 65 year old and under 15 years. For the economic factor: exchange rate, which has as principle to describe the relationship between the Mexican peso against the US dollar (for many practical applications the exchange rate is an indicator of peso devaluation or level of purchase capacity of imported goods as agricultural inputs). Finally for the physical factor was selected: the cation exchange capacity (CEC) of the soil, which is an indicator of soil fertility in terms of the ability of the latter to provide the minerals required by the plant for its growth and development in productive terms.

**Cuadro 2. Indicadores de vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal en Nayarit.**

**Table 2. Vulnerability indicator of rainfed maize production in Nayarit.**

Social	Económico	Físico
Índice de envejecimiento	Tipo de cambio	Capacidad de intercambio catiónico
Nivel de alfabetismo	Inflación	Erodabilidad del suelo
Grado de ruralidad	PIB	Pérdida del suelo por erosión hídrica

**Vulnerability model**

In Table 3 can be seen the statistical model of multiple linear regression. According to the results, the weighted contribution to the beta coefficient equation of each variable was: physical (44.8%), social (38.2%) and economic (17%). The generated regression equation was:

Rendimiento= 89 - 3.81 CIC + 0.189 tipo de cambio - 0.108 índice de envejecimiento.

Yield= 89 - 3.81 CEC + 0.189 exchange rate - 0.108 aging index.

### Cuadro 3. Estadísticos del modelo de regresión lineal múltiple.

Table 3. Statistical model of multiple linear regression.

Predictor	Coefficientes	Error estándar	T-estadístico	p-valor
Constante	88.9	120.4	0.74	0.472
CIC	-3.807	5.195	-0.73	0.476
Tipo de cambio	0.1894	0.1937	0.98	0.345
Índice de envejecimiento	-0.1085	0.1573	-0.69	0.502

S= 0.468662 R<sup>2</sup>= 59.1% R<sup>2</sup> (ajustado) = 50.3%.

### La validación del modelo de vulnerabilidad

Se comprobó la funcionalidad del modelo en la serie de tiempo (1995-2012), definiendo como observados los datos de rendimiento promedio estatal de maíz de temporal y como predichos el resultado del modelo. El coeficiente de correlación entre observados y predichos fue de 0.77; sin embargo, el coeficiente de determinación es el 0.59 que es aceptable para este tipo de modelos dada la variación de los pesos ponderados de los coeficientes (Cuadro 4). La distribución de los residuos del modelo de regresión en la gráfica de probabilidad normal reflejó un ajuste aceptable (Figura 4A). En tanto que la bondad del ajuste del modelo fue de  $\pm 0.5$  en promedio (Figura 4B). Con ambas herramientas se verificó la normalidad y homocedasticidad del error, evidenciando la aceptable calidad del modelo para predecir el rendimiento de maíz de temporal. El modelo "sobrestima" en 2005, año en el cual se obtuvieron los menores rendimientos ocasionado por una sequía agrícola severa.

### Validation of vulnerability model

The functionality of the model was corroborated in the time series (1995-2012), defined as observed data the state average maize yield under rainfed and as predicted by the model output. The correlation coefficient between observed and predicted was 0.77; however, the determination coefficient is 0.59 which is acceptable for this type of model given the variation of the weighted arithmetic means of the coefficients (Table 4). The distribution of the residuals from the regression model in the normal probability plot reflected an acceptable fit (Figure 4A); while the goodness average of fit of the model was  $\pm 0.5$  (Figure 4B); with both tools, the normality and homoscedasticity error was verified, demonstrating the acceptable standard model to predict maize yield under rainfed. The model "overestimates" in 2005, year in which lower yields were obtained due to severe drought.

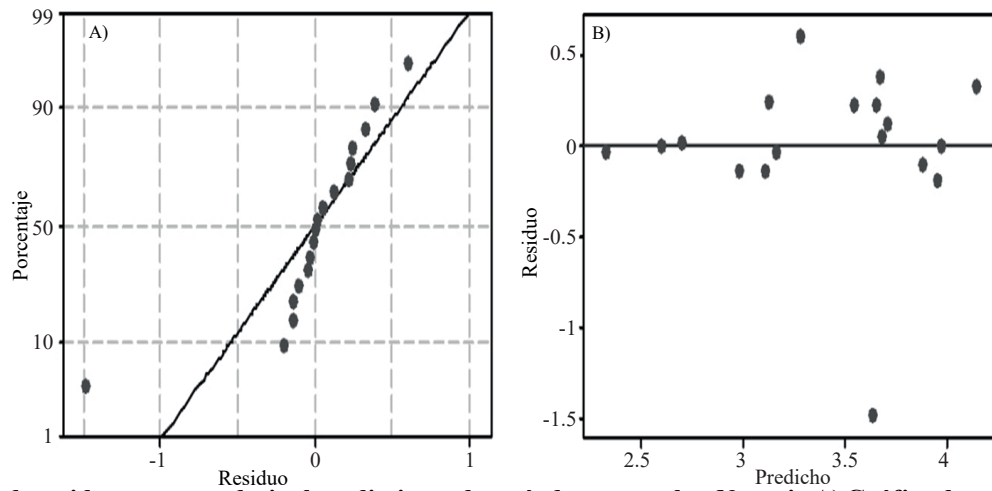
### Cuadro 4. Promedio anual de rendimiento observado de maíz de temporal en Nayarit (t ha<sup>-1</sup>) y el rendimiento predicho por el modelo de vulnerabilidad.

Table 4. Annual average yield observed for rainfed maize in Nayarit (t ha<sup>-1</sup>) and yield predicted by the vulnerability model.

Año	Observado	Predicho	Residuo	Año	Observado	Predicho	Residuo
1995	2.29	2.35	0.06	2004	3.72	3.70	-0.02
1996	2.59	2.62	0.03	2005	2.15	3.65	1.50
1997	2.72	2.73	0.01	2006	3.88	3.68	-0.20
1998	2.84	3.01	0.17	2007	4.05	3.69	-0.36
1999	2.97	3.13	0.16	2008	3.83	3.73	-0.10
2000	3.37	3.15	-0.22	2009	4.47	4.17	-0.30
2001	3.13	3.19	0.06	2010	3.75	3.98	0.23
2002	3.88	3.30	-0.58	2011	3.77	3.90	0.13
2003	3.76	3.56	-0.20	2012	3.97	4.00	0.03

R= 0.77 r<sup>2</sup>= 0.59





**Figura 4. Análisis de residuos para predecir el rendimiento de maíz de temporal en Nayarit. A) Gráfico de probabilidad normal; y B) Gráfico de bondad del ajuste.**

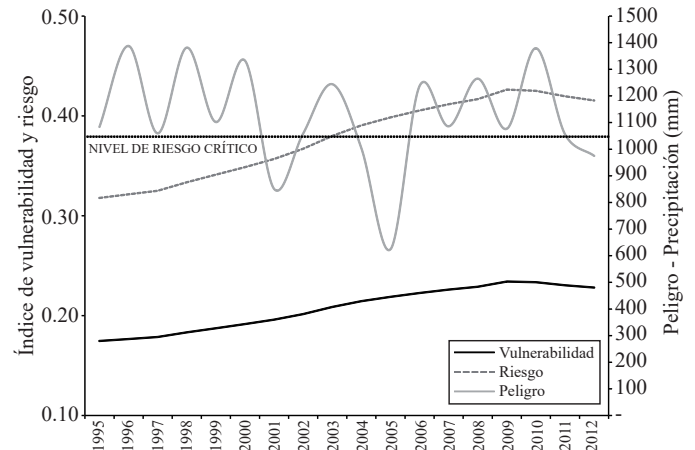
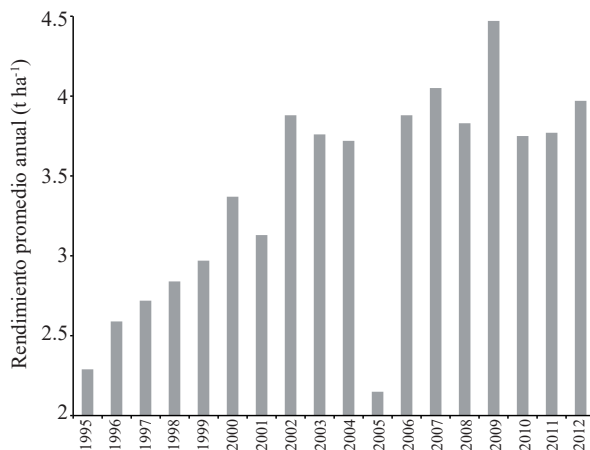
**Figure 4. Residue analysis to predict maize yield under rainfed in Nayarit. A) normal probability plot; and B) goodness of fit plot.**

**Modelo de riesgo**

Los eventos donde el índice de peligro rebasó el nivel inferior del nivel crítico (1050 mm de precipitación en la época de temporal) fueron en 2001, 2005, 2011 y 2012. En ellos se presentan disminuciones en el rendimiento que contrastan con la tendencia, particularmente los años 2005 y 2001. Lo anterior coincide con lo indicado por Magaña (2013), donde precisa que si el modelo de vulnerabilidad presenta una dinámica que conjugado con el peligro explique un riesgo alto en los impactos negativos del objeto de estudio; los indicadores se pueden considerar como “adecuados” (Figura 5).

**Risk model**

Events where the risk index exceeded the level below the critical level (1050 mm of precipitation in the rainfed period) were in 2001, 2005, 2011 and 2012. During these periods yield decreases presented, contrasting with the trend, particularly 2005 and 2001. This coincides with the indicated by Magaña (2013), who states that if the vulnerability model presents a dynamic that conjugated with danger explains a high risk on the negative impacts of the object of study, the indicators can be considered "adequate" (Figure 5).



**Figura 5. Dinámica del riesgo, el peligro, la vulnerabilidad y su impacto en el rendimiento de maíz de temporal en Santa María del Oro, Nayarit, México.**

**Figure 5. Risk dynamics, risk, vulnerability and its impact on rainfed maize yield in Santa Maria del Oro, Nayarit, Mexico.**

## La distribución de la vulnerabilidad en Nayarit

El índice de vulnerabilidad aplicado a nivel municipal en el estado de Nayarit a 2010, muestra como la región productora de maíz de temporal es heterogénea, ya que se encuentran en nivel Bajo Jala y La Yesca (municipios con bajo índice de envejecimiento y aceptable nivel de fertilidad en el suelo). En nivel Medio se encuentran Santa María del Oro, San Pedro Lagunillas, Ixtlán del Río y Amatlán de Cañas y únicamente Ahuacatlán como nivel alto (índice de envejecimiento más alto). En el resto del estado predomina el nivel medio, principalmente en municipios costeros que se caracterizan por su baja superficie establecida de maíz en temporal (Figura 6).

## Conclusiones

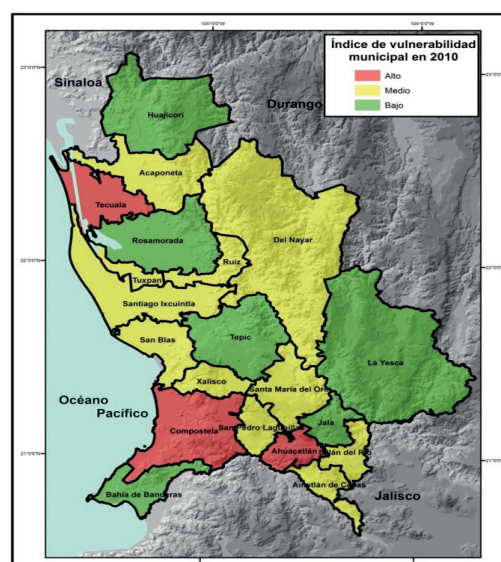
El modelo de riesgo permitió identificar el umbral crítico de la precipitación de verano vista como peligro ( $< 1\ 050\text{mm}$ ) en el cual los rendimientos de maíz de temporal se ven afectados de manera negativa. Del mismo modo, el uso de un modelo de vulnerabilidad que se integró por indicadores basados en un factor físico (capacidad de intercambio catiónico del suelo), económico (tipo de cambio peso vs. dólar) y social (índice de envejecimiento de la población rural) permitió conocer la dispersión de la vulnerabilidad a nivel municipal. Este trabajo abona a un mejor entendimiento de la vulnerabilidad y el riesgo de la producción de maíz de temporal en el estado de Nayarit y expone una alternativa a la construcción del modelo matemático, lo cual coadyuva a una mejor aplicación de la guía publicada por Magaña en 2013.

## Agradecimientos

Se reconoce el financiamiento de la Universidad Autónoma de Nayarit y la contribución institucional de la UNAM y el INIFAP. En especial a Carolina Neri y Luis Galván de la UNAM, por su asesoría en la interpretación de la guía de vulnerabilidad, a Horacio Betancourt Ramírez de INIFAP por el apoyo técnico.

## Vulnerability distribution in Nayarit

The vulnerability index applied at municipal level in the state of Nayarit in 2010 shows how the rainfed maize-producing region is heterogeneous, as they are at low level in Jala and La Yesca (municipalities with low aging index and acceptable level of soil fertility). At medium level are Santa María del Oro, San Pedro Lagunillas, Ixtlán del Río and Amatlán de Cañas and only Ahuacatlán as high level (highest aging index). In the rest of the state dominate the medium level, mainly in coastal municipalities which are characterized by their low surface of rainfed maize (Figure 6).



**Figura 6. Índice de vulnerabilidad de la producción de maíz de temporal (ciclo primavera- verano, 2010) en los municipios de Nayarit, México**

**Figure 6. Vulnerability index of rainfed maize production (spring-summer cycle, 2010) in the municipalities of Nayarit, Mexico.**

## Conclusions

The risk model allowed to identify the critical threshold of summer precipitation seen as risk ( $<1\ 050\text{ mm}$ ) in which rainfed maize yields are affected negatively. Similarly, the use of a vulnerability model that was integrated by indicators based on a physical factor (cation exchange capacity of the soil), economic (peso vs dollar) and social (aging index of rural population) allowed to know the vulnerability dispersion at the

## Literatura citada

- Antwi-Agyei, P.; Fraser, E.D.; Dougill, A. J.; Stringer, L. C. and Simelton, E. 2012. Mapping the vulnerability of crop production to drought in Ghana using rainfall, yield and socioeconomic data. *Applied Geography*. 32:324-334.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2012. El cambio climático y la producción agrícola. Estados Unidos de América. Notas Técnicas. 36 p.
- Fawaz-Yissi, J. y Vallejos-Cartes, R. 2011. Calidad de vida, ocupación, participación y roles de género: un sistema de indicadores sociales de sostenibilidad rural (Chile). Colombia. Cuadernos de desarrollo rural. 67(8):45-68.
- González-Acuña, I. J.; Ruiz-Corral, J. A.; Martínez-Parra, R. A.; Byerly-Murphy, K. F.; Mena-Hernández, L. y Osuna-García, J. A. 2002. Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el municipio de Santa María del Oro, Nayarit. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México. Folleto de investigación Núm. 15. 61 p.
- González-Rojas, K.; García-Salazar, J. A.; Matus-Gardea, J. A. y Martínez-Saldaña, T. 2011. Vulnerabilidad del mercado nacional de maíz (*Zea mays* L.) ante cambios exógenos internacionales. México. *Agrociencia*. 45(6):733-744.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2007. Principales cultivos agrícolas de Nayarit: Censo Agropecuario 2007. México. 91 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013. Anuario Estadístico y Geográfico de Nayarit 2013. México. 429 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Ginebra, Suiza. 104 p.
- municipal level. This work helps to a better understanding of the vulnerability and the risk of rainfed corn production in the state of Nayarit and exposes an alternative to the construction of the mathematical model, which contributes to better implementation of the guidelines issued by Magaña 2013.

*End of the English version*



- Jayanthi, H.; Husak, G.; Funk, C.; Magadzire, T.; Chavula, A. and Verdin, J. P. 2013. Modeling rain-fed maize vulnerability to droughts using the standardized precipitation index from satellite estimated rainfall- Southern Malawi case study. *Int. J. Disaster Risk Reduction*. 4:71-81.
- Krishnamurthy, P. K.; Lewis, K. and Choularton, R. J. 2014. A methodological framework for rapidly assessing the impacts of climate risk on national-level food security through a vulnerability index. *Global Environmental Change* 25:121-132.
- Magaña-Rueda, V. O. 2013. Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático. México. 61 p.
- Malcomb, D. W.; Weaver, E. A. and Krakowka, A. R. 2014. Vulnerability modeling for sub-Saharan Africa: An operationalized approach in Malawi. *Applied Geography* 48:17-30.
- 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.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). <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*. 36:71-98.
- Zamudio-Sánchez, F. J.; Corona-Ambriz, A. y López-Becerril, I. D. 2008. Un índice de ruralidad para México. México. *Espiral, estudios sobre estado y sociedad*. 42(14):179-214.