

Influencia del cambio climático en el desarrollo de plagas y enfermedades de cultivos en Sonora*

Climate change influence on the development of pests and diseases of crops in Sonora

José Grageda Grageda^{1§}, José Ariel Ruiz Corral², Alejandro Jiménez Lagunes³ y Agustín Alberto Fu Castillo¹

¹INIFAP. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Carr. A Bahía de Kino km 12.6. Col. La Manga. Hermosillo, Sonora. ²INIFAP. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, Tepatitlán, Jalisco. (ruiz.ariel@inifap.gob.mx). ³Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Sonora. (alejandro.lagunes@cesaveson.com). [§]Autor para correspondencia: grageda.jose@inifap.gob.mx.

Resumen

El calentamiento del sistema climático es claro, así lo demuestran los aumentos del promedio mundial de la temperatura tanto del aire como del océano. Particularmente, los cultivos pueden verse favorecidos por los aumentos de bióxido de carbono atmosférico; que ayudan a optimizar el proceso fotosintético. Sin embargo, un aumento de la temperatura podría generar también las condiciones propicias para el desarrollo de diversas plagas y enfermedades. Esto podría afectar entre el 12 y el 13% del rendimiento en los ocho cultivos de mayor importancia para la alimentación y la industria, los cuales ocupan más de la mitad de la superficie cultivada en el mundo. En este estudio se caracterizó y cuantificó el impacto del cambio climático sobre las condiciones favorables para la infección de enfermedades como roya de la hoja (*Puccinia triticina*) y roya lineal (*P. striiformis* f. sp. *tritici*) en trigo y sobre las poblaciones de la plaga llamada gusano barrenador de la nuez *Acrobasis nuxvorella* en nogal pecanero. Los datos utilizados fueron los publicados por el grupo interdisciplinario que conforman el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore, el Programa de Aplicaciones California Nevada, la Central Climática y la Universidad de Santa Clara en Estados Unidos de América. Se utilizaron las salidas de los años 2020 y 2050 para el modelo de circulación general de la atmósfera conocido

Abstract

Warming of the climate system is clear, as shown by the increase in global average temperature of both air and ocean. Particularly, the crops may be favoured by increases in atmospheric carbon dioxide; that help to optimize the photosynthetic process. However, an increase in temperature could also create proper conditions for the development of various pests and diseases. This could affect between 12 and 13% yield in the eight major crops for food and industry, which occupy more than half of the cultivated area in the world. In this study we characterized and quantified the impact of climate change on the favourable conditions for infection diseases such as leaf rust (*Puccinia triticina*) and stripe rust (*P. striiformis* f. sp. *Tritici*) in wheat and on the pecan nut casebearer (*Acrobasis nuxvorella*). The data used were those published by the interdisciplinary group comprising the Lawrence Livermore National Laboratory of Climate Central, the California Nevada Applications Program, and the University of Santa Clara in United States of America. The outputs of the years 2020 and 2050 for the general circulation model of the atmosphere known as ECHAM (http://www.ipcc-data.org/ar4/model-CCCMA-CGCM3_1-T47-change.html). The 2010 maps were made by staff of SIAFESON, using data from the network of meteorological stations of Sonora (www.agrosn.org).

* Recibido: abril de 2014
Aceptado: septiembre de 2014

como ECHAM (http://www.ipcc-data.org/ar4/model-CCCMA-CGCM3_1-T47-change.html). Los mapas de 2010 se hicieron por personal del SIAFESON con datos de la red de estaciones meteorológicas de Sonora (www.agroson.org.mx). Los resultados evidencian un incremento de 100% en los días con condiciones favorables para roya de la hoja (pasando de 60 a 120 días con condiciones favorables). Para la roya lineal, el incremento de la temperatura plantea un escenario no favorable para su desarrollo. En el caso del gusano barrenador de la nuez, se observa un incremento en el número de generaciones (promedio de 5.4 a 6) como una consecuencia clara de un mayor número de unidades calor.

Palabras clave: *Acrobasis nuxvorella*, *Puccinia striiformis*, *Puccinia triticina*, enfermedad, temperatura, trigo.

Introducción

La concentración atmosférica global de gases de efecto invernadero se ha incrementado en gran medida, debido a las influencias antropogénicas, afectando a la agricultura y los ecosistemas naturales. La creciente concentración de CO₂ que interactúa con elementos del clima como la temperatura y las lluvias, está influyendo el crecimiento vegetal y la productividad en un clima cambiante. Es bien sabido cómo los efectos de las infestaciones de plagas y enfermedades de las plantas en los cultivos puede dificultar la calidad y cantidad de los productos agrícolas; por lo tanto, amenazan la seguridad alimentaria. A pesar de su importancia, hay pocos estudios sobre el impacto del cambio climático sobre las plagas y enfermedades (Hamada y Ghini, 2011).

Hay pruebas claras de que el cambio climático está alterando la distribución, la incidencia y la intensidad de animales y vegetales plagas y enfermedades como la lengua azul, una enfermedad de las ovejas que se movía hacia el norte a más zonas templadas de Europa. Cannon (2008) ha encontrado ejemplos de plagas de plantas cuya distribución ha cambiado en el Reino Unido y en otras partes de Europa, muy probablemente debido a los factores climáticos, tal es el caso del gusano de la cápsula (*Helicoverpa armigera*) la cual tuvo un fenomenal aumento en el Reino Unido entre 1969-2004 y ha habido brotes en el extremo norte de su área de distribución en Europa; también la escama algodonosa (*Icerya purchasi*) cuyas poblaciones parecen estar extendiéndose hacia el norte, tal vez como consecuencia del calentamiento global, así como la escama camelia

(*mx*). The results show an increase of 100% on days with favourable conditions for leaf rust (from 60 to 120 days with favourable conditions). For the stripe rust, the temperature increase makes an unfavourable development. In the case of the pecan nut casebearer, there was an increase in the number of generations (average 5.4 to 6) as a clear consequence of a larger number of heat units.

Keywords: *Acrobasis nuxvorella*, *Puccinia triticina*, *Puccinia striiformis*, disease, temperature, wheat.

Introduction

The global atmospheric concentration of greenhouse gases has increased largely due to anthropogenic influences, affecting agriculture and natural ecosystems. The increasing concentration of CO₂ interacting with climatic elements such as temperature and rainfall is influencing plant growth and productivity in a changing climate. It is well known how the effects of pest infestations and plant diseases in crops may hinder the quality and quantity of agricultural products; therefore, threatening food security. Despite its importance, there are few studies on the impact of climate change on pests and diseases so far (Hamada and Ghini, 2011).

There is clear evidence that climate change is altering the distribution, incidence and intensity of plant and animal pests and diseases such as bluetongue, a disease of sheep moving from the north to more temperate zones of Europe. Cannon (2008) has found examples of plant pests whose distribution has changed in the UK and other places of Europe, most likely due to climatic factors, as in the case of bollworm (*Helicoverpa armigera*) which had a phenomenal increase in the United Kingdom between 1969-2004 and there have been outbreaks at the northern end of its range in Europe, and also the cottony cushion scale (*Icerya purchasi*) whose populations seem be spreading northward, perhaps due to global warming, as well as camellia Pulvinaria (*Chloropulvinaria floccifera*) which has become a more common problem in the UK, which has spread northward in England and increasing its host range in the last decade, which is almost certainly in response to climate change. In Sweden this species was known only as a problem of greenhouse crops, but it has already been established as an outdoor kind (FAO, 2008).

algodonosa pulvinaria (*Chloropulvinaria floccifera*) que se ha convertido en un problema más común en el Reino Unido, que se ha extendido hacia el norte del área de distribución en Inglaterra y aumentando su rango de hospederos en la última década, lo que es casi sin duda en respuesta al cambio climático. En Suecia, esta especie se conocía sólo como un problema de cultivos bajo invernadero, pero ya se ha establecido como una especie al aire libre (FAO, 2008).

En las regiones templadas, la mayoría de los insectos tiene su período de crecimiento durante la parte más caliente del año. Debido a esto, las especies cuyo nicho se define por el régimen climático responderán más predeciblemente ante el cambio (Bale *et al.*, 2002), mientras que aquellos en los que el nicho está limitado por otros factores bióticos o abióticos serán menos predecible (Jenkinson *et al.*, 1996). Los estudios sobre el calentamiento de la Tierra se basan en datos históricos de temperatura, modelos computarizados y ecuaciones matemáticas. Estas investigaciones pretenden pronosticar la tendencia del clima para los próximos cien años. Casi todos los y las especialistas convergen en que lo que se desconoce resulta asimétrico; por ejemplo, es probable que cada vez seamos más reacios a aceptar el cambio de clima a medida que el tiempo se alargue. Subir de un calentamiento de 2 °C a 4 °C es mucho más alarmante que de 0 °C a 2 °C. Cuanto mayor sea el calentamiento, más nos alejamos de la temperatura actual y más considerable resulta la posibilidad de que ocurran fenómenos no previstos. No obstante, se prevé el aumento de la ocurrencia de fenómenos extremos como sequías, huracanes, ondas cálidas y gélidas, desbordamiento de los ríos y congelamiento de los lagos, fenómenos que actualmente causan las pérdidas económicas mayores. Estas consideraciones se han abordado a partir de la teoría sobre el cambio climático global (Contreras y Galindo, 2009).

Las enfermedades en plantas y cultivos son un componente importante de la producción agrícola ya que tienen el potencial de reducir significativamente el rendimiento de los cultivos. Estimaciones recientes indican que dicha reducción alcanza consistentemente una media anual de 12-13% de la cosecha alcanzable en los ocho cultivos de mayor importancia para la alimentación y la industria, que conjuntamente ocupan más de la mitad de la superficie cultivada en el mundo. Además, algunas enfermedades re-emergentes han causado ataques devastadores asociados con determinados cambios ambientales y tecnológicos en la producción de cultivos durante la última década, incluso en países poseedores de la mejor tecnología agrícola (Jiménez-Díaz, 2008).

In temperate regions, most insects have their period of growth during the hottest part of the year. Because of this, the species whose niche is defined through the climate system will respond more predictably to the change (Bale *et al.*, 2002), whereas those in which the niche is limited by other biotic or abiotic factors will be less predictable (Jenkinson *et al.*, 1996). The studies on global warming are based on historical temperature data, computer models and mathematical equations. These investigations aim to forecast the weather trend for the next hundred years. Almost all of our experts converge that unknown is asymmetrical; for example, is likely to be increasingly reluctant to accept climate change as the time goes. Uploading a heating from 2 °C to 4 °C is much more disturbing than 0 °C to 2 °C. The higher the heat, the more we move away from the current temperature and is even more likely that significant events might happen unanticipated. However, is expected the increase in the occurrence of extreme events such as droughts, hurricanes, heat and cold waves, overflowing of the rivers and lakes freezing, phenomena that are currently causing the greatest economic losses. These considerations have been addressed from the theory of global climate change (Contreras and Galindo, 2009).

Diseases in plants and crops are an important component of agricultural production as they have the potential to significantly reduce crop yields, recent estimates indicate that this reduction consistently obtain an annual average of 12-13% achievable harvest in the eight major crops for food and industry, which together occupy more than half of the cultivated area in the world. In addition, some re-emerging diseases have caused devastating attacks associated with certain environmental and technological changes in crop production over the last decade, even in countries that possess improved agricultural technology (Jiménez-Díaz, 2008).

Magaña (2007) mentioned that in Sonora there will be an increase in mean annual temperature ranging between 1 and 2 °C by 2020 and 1.5 to 3 °C by 2050m, a situation that led to the subject of this study, which characterized and quantified the impact of climate change on the incidence of favourable conditions for one of the most important pests of pecan in Hermosillo, Sonora, the pecan nut casebearer. Also, favourable conditions were assessed for infections by leaf rust and stripe rust in wheat, in valleys Yaqui and Mayo (Southern Sonora).

Magaña (2007) menciona que en Sonora habrá un aumento de la temperatura media anual que oscila entre 1 y 2 °C para 2020 y de 1.5 a 3 °C para 2050. Situación que propició el objeto de este estudio, en donde se caracterizó y cuantificó el impacto del cambio climático sobre las condiciones favorables para la incidencia en una de las plagas más importantes del nogal pecanero en Hermosillo, Sonora, el llamado gusano barrenador de la nuez. Asimismo, se evaluaron las condiciones favorables para la infección por de la hoja y roya lineal en el trigo en los valles del Yaqui y Mayo (Sur de Sonora).

Materiales y métodos

Se utilizaron los datos de temperatura promedio mensual para el período 2000-2050 generados mediante técnicas de downscaling de las salidas del modelo CGCM3_1 y publicados por el grupo interdisciplinario que conforman el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore, el Programa de Aplicaciones California Nevada, la Central Climática y la Universidad de Santa Clara en Estados Unidos de América (<http://gdo-dcp.ucllnl.org/>). Los datos que son compartidos en archivos NetCDF (Network Common Data Form) fueron descargados y guardados en una base de datos que utiliza MySQL como gestor de la base de datos para eficientar las consultas. De igual manera para delimitar las regiones agrícolas se utilizaron los contornos de la Costa de Hermosillo y de los Valles del Yaqui y del Mayo (Sur de Sonora) proporcionados por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Sonora.

En total para Sonora se descargaron los datos de 1 076 nodos, los cuales se muestran en la Figura 1. Se identificaron 27 nodos que cubren la Costa de Hermosillo y 24 nodos para cubrir la región agrícola Sur de Sonora (Figura 2). Con estas temperaturas promedio mensuales y mediante la técnica de cuadrados mínimos se obtuvieron modelos de regresión entre los datos de las estaciones de la red Agrosón y los datos de los nodos. Se utilizaron todos los datos disponibles para cada estación y los correspondientes en los nodos durante el período 2000-2010. Los modelos de regresión permitieron obtener los parámetros estadísticos para calcular las temperaturas diarias de los nodos en el año 2020 y 2050, bajo la suposición de que la oscilación térmica se mantendrá. Esta suposición se vuelve primordial toda vez que para calcular la humedad relativa (HR) horaria se hizo una regresión entre los datos de temperatura y HR, a diferentes desfases. Los desfases elegidos fueron aquellos donde se encontró la máxima correlación positiva.

Materials and methods

The average monthly temperature data were used for the 2000-2050, period generated by techniques of downscaling of the outputs of the model CGCM3_1 and published by the interdisciplinary group comprising the Lawrence Livermore National Laboratory, the California Nevada Applications Program, Climate Central and the University of Santa Clara in United States of America (<http://gdo-dcp.ucllnl.org/>). Data shared in NetCDF (Network Common Data Form) files were downloaded and stored in a database using MySQL as a manager of the database to streamline the queries. Similarly to delineate the agricultural regions we used the borders of the Costa de Hermosillo and Valleys Yaqui and Mayo (Southern Sonora) provided by the State Committee on Plant Health of Sonora.

Overall for Sonora, data from 1076 nodes were downloaded, which are shown in Figure 1. 27 nodes covering the Costa de Hermosillo and 24 nodes for covering the agricultural region in the South of Sonora (Figure 2) were identified. With these average monthly temperatures and using the technique of least squares, we obtained regression models between data of the stations of the Agrosón network and nodes data. All available data for each station and the corresponding nodes during the period 2000-2010 were used. Regression models allowed us to obtain the statistical parameters for calculating daily temperatures of the nodes in 2020 and 2050 under the assumption that, the temperature variation is maintained. This assumption becomes quite important, since in order to calculate the relative humidity (RH) per hour, we made a regression between temperature date and RH at different lags. Time lags chosen were those where the maximum positive correlation was found.

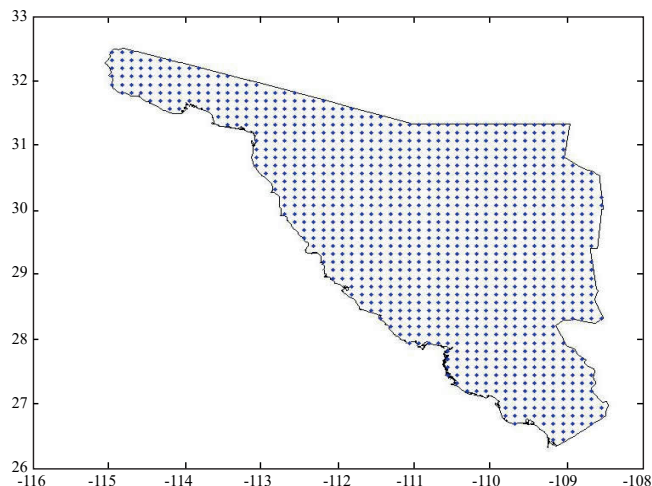


Figura 1. Nodos seleccionados para el estado de Sonora.
Figure 1. Nodes selected for the State of Sonora.

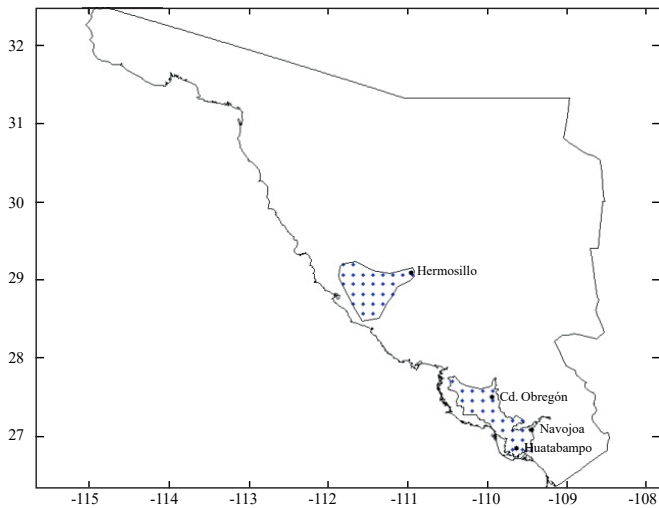


Figura 2. Nodos seleccionados para la Costa de Hermosillo y Valles del Yaqui y Mayo.

Figure 2. Nodes selected for Costa de Hermosillo and Valleys Yaqui and Mayo.

Debido a que en la actualidad, el gusano barrenador de la nuez (GBN) sólo se encuentra presente en la región agrícola de la Costa de Hermosillo, se procedió a evaluar el posible cambio de la incidencia del gusano barrenador de la nuez bajo escenarios de cambio climático. Para esto se utilizó el modelo de la biología del insecto propuesto por Nava (1994), que usa la técnica de unidades calor para calcular el número de generaciones, mediante el método residual (temperatura media - 3.3 °C). Cada generación se obtuvo con un total de 907 UC acumuladas que corresponden al ciclo biológico del GBN (García, 1986). Se seleccionó el período entre enero y noviembre, período que históricamente es monitoreado por la Junta Local de Sanidad Vegetal de Hermosillo, Sonora.

Las royas del trigo son importantes en el sur de Sonora (Valle del Yaqui y Valle del Mayo), en especial las de la hoja y lineal. Es por ello que con las salidas de temperatura del modelo se procedió a evaluar el posible cambio en las condiciones favorables para su incidencia. En la roya de la hoja *Puccinia triticina* Erikson, se utilizaron temperaturas promedio entre 15° y 22 °C mientras que para la roya lineal o amarilla *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, se utilizaron las temperaturas entre 9 y 11 °C consideradas como óptimas, en ambos casos se consideró una humedad relativa mayor o igual a 80% en un período mayor a 4 horas por día en el período de las 06:00 h a las 12:00 h (Jiménez, 2008). Se consideró el período de diciembre a marzo.

Since the pecan nut casebearer (GBN) is currently only present in the agricultural region of Costa de Hermosillo, we proceeded to evaluate the possible change of the incidence of under scenarios of change climate. For this, we used the model proposed by Nava (1994), using the technique of heat units for calculating the number of generations through the residual method (-3.3 °C mean temperature). Each generation was obtained with a total of 907 accumulated UC corresponding to the life cycle of GBN (García, 1986). The period between January and November was selected, period historically monitored by the Local Board of Plant Protection of Hermosillo, Sonora.

Wheat rusts are important in southern Sonora (Valle del Yaqui and Valle del Mayo), especially leaf and linear. That is why the model temperature outputs proceeded to evaluate the possible change in conditions favourable to its occurrence. In the leaf rust *Puccinia triticina* Erikson, we used average temperatures between 15° and 22 °C, while for the stripe rust *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, we used the temperatures between 9 and 11 °C considered optimal, in both cases, a relatively humidity higher than or equal to 80% in more than 4 hours per day in the period from 06:00 to 12:00 h (Jiménez, 2008). The period from December to March was considered.

Results and discussion

Casebearer (*A. nuxvorella*)

According to the results with the isolines of Figures 3 to 5, an increasing number of generations of a larger number of heat units are noted, observing in the Figure 3 that the recent situation (2010) of generations of GBN, ranges from 4.9 to 6 with an average of 5.4, while for the year 2020 (Figure 4) and 2050 (Figure 5), ranging from 5 to 6.8 with an average of 5.9, although in 2050 is the same value but in the high-incidence regions (yellow and orange areas) will be higher than in 2020; i.e., covering larger areas of the producing area of walnuts, so if eradication campaigns or at least suppression of the insect are not made, there will be major problems in its control which affects production costs for the producer. This agrees with the statement by van Oudenhoven *et al.* (2008), who indicated that, the temperature increases in the Netherlands in 2050 (0.3 - 2.3 °C), will make the processional worm (*Thaumetopoea processionea*) disperse almost throughout the whole country.

Resultados y discusión

Gusano barrenador de la nuez (*A. nuxvorella*)

De acuerdo a los resultados obtenidos, con las isólinas de las Figuras 3 al 5 se nota un incremento en el número de generaciones por un mayor número de unidades calor, observándose en la Figura 3 que la situación reciente (2010) de generaciones de GBN oscila en el rango de 4.9 a 6 con un promedio de 5.4, mientras que para los años 2020 (Figura 4) y 2050 (Figura 5), oscila entre 5 y 6.8 con promedio de 5.9, aunque para el 2050 es el mismo valor pero las regiones de alta incidencia (áreas amarillas y anaranjadas) serán mayores al 2020; es decir, que se cubrirán mayores áreas de la zona productora de nogal, por lo cual si no se realizan campañas de erradicación o al menos supresión del insecto, se tendrán mayores problemas en su control lo cual incide en mayores costos de producción para el productor. Esto concuerda con lo manifestado por van Oudenhoven *et al.* (2008), que señalan que los incrementos de la temperatura en los países bajos en el año 2050 (0.3 - 2.3 °C), harán que el gusano procesionario (*Thaumetopoea processionea*) se disperse prácticamente por todo el país.

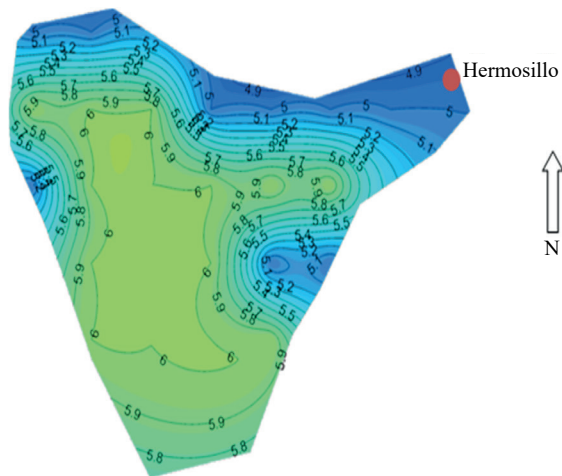


Figura 3. Mapa de generaciones de GBN para el año 2010. Costa de Hermosillo, Sonora.

Figure 3. Map of generations of GBN during 2010. Costa de Hermosillo, Sonora.

Roya de la hoja (*P. triticina*)

De acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a los días de condiciones favorables para la infección por ésta enfermedad, puede observarse que de acuerdo las gráficas con isólinas que se muestra en la Figura 6, que se refiere a la situación reciente

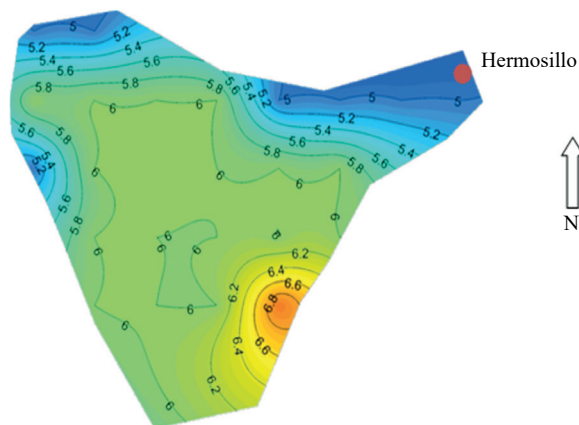


Figura 4. Mapa de generaciones de GBN para el escenario del año 2020. Costa de Hermosillo, Sonora.

Figure 4. Map of generations of GBN for the 2020 scenario. Costa de Hermosillo, Sonora.

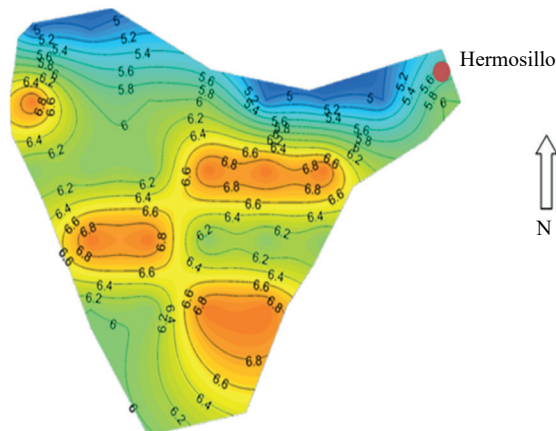


Figura 5. Mapa de generaciones de GBN para el escenario del año 2050. Costa de Hermosillo, Sonora.

Figure 5. Map of generations of GBN for the 2050 scenario. Costa de Hermosillo, Sonora.

Leaf rust (*P. triticina*)

According to the results in terms of days of favourable conditions for infection with this disease, we can see that, according to graphics of isolines shown in Figure 6, relates to the recent situation (2010), between 30 and 90 days, being lower in the wheat areas of the north closer to the urban area of Ciudad Obregón, while the greatest risks occur in the coastal area especially towards the Valle del Mayo, which have a great influence on moist ocean currents, besides that they are low areas that have better low temperature conditions that favour the development of fungus. It is also clear that the region of the Valle del Mayo in general has better favourable conditions for the disease and is very common in this area to start the infections for Southern Sonora.

(2010), estos oscilan entre 30 y 90 días, siendo menores en las áreas trigueras del norte más cercanas a la zona urbana de Ciudad Obregón, mientras que los mayores riesgos se presentan en la zona costera especialmente hacia el Valle del Mayo, sobre lo cual influyen mucho las corrientes húmedas del mar, además de que son partes bajas que presentan mejores condiciones de bajas temperaturas que favorecen el desarrollo del hongo. También es claro, que la región del Valle del Mayo en general presenta mejores condiciones favorables para la enfermedad, y es muy común que en ésta área se inicien las infecciones para el área Sur de Sonora.

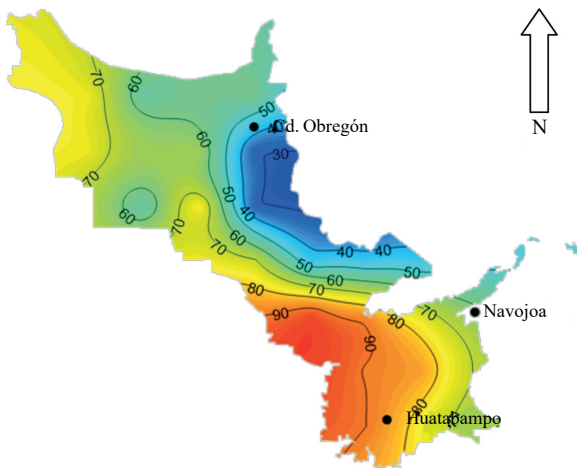


Figura 6. Mapas de los números de días con condiciones favorables para infección de la roya de la hoja del trigo en el Sur de Sonora. Escenario 2010.

Figure 6. Maps of the numbers of days with favourable conditions for infection of leaf rust of wheat in southern Sonora. Scenario 2010.

En el 2020 (Figura 7) se observa que los días de condiciones favorables oscilan entre 10 y 110, destacando el hecho de que en las áreas cercanas a Ciudad Obregón como San José de BÁCUM y CÓCORIT, así como la parte costera, el número con condiciones favorables se reduce, esto como un efecto del incremento de las temperaturas, situación que desfavorece el desarrollo del hongo. Similar a lo anterior, es notable el incremento de éste valor en la región del Valle del Mayo; aumento de la mancha de color rojizo, que indica un mayor número de días de condiciones favorables. Por otra parte, el escenario 2050 muestra una tendencia similar al 2020, oscilando los días favorables entre 10 y 110, pero existe una redistribución geográfica para los diferentes niveles de riesgo, ya que incluso hay una pequeña reducción de éstas áreas en el Valle del Mayo (Figura 8). Resultados similares encontrados por Hijmans (2000) y Kaukoranta (1996) señalan que por cada grado Celsius de incremento de la temperatura, el tizón tardío de la papa y el tomate (*Phytophthora infestans*),

In 2020 (Figure 7), is shown that the days of favourable conditions are between 10 and 110, highlighting the fact that in areas near Ciudad Obregon such as San José de BÁCUM and CÓCORIT as well as the coastal part, the number with favourable conditions is reduced, this as an effect of rising temperatures, a situation that discourages fungal growth. Similar to this, it is a notable increase in this value in the region of the Valle del Mayo; increased in the reddish stain, indicating a higher number of days of favourable conditions. On the other hand, the 2050 scenario shows a similar trend to 2020, ranging favourable days between 10 and 110, but there is a geographical redistribution for different levels of risk, as there is even a small reduction in those areas in the Valley Mayo (Figure 8). Similar results were found by Hijmans (2000) and Kaukoranta (1996) point out that for every degree Celsius increased in temperature, the late blight (*Phytophthora infestans*) the infection will start 4-7 days earlier, in addition that the susceptible period is extended from 10 to 20 days, which could result in a larger number of spray applications (1-4), resulting in increased costs and environmental risk in the northwestern United States.

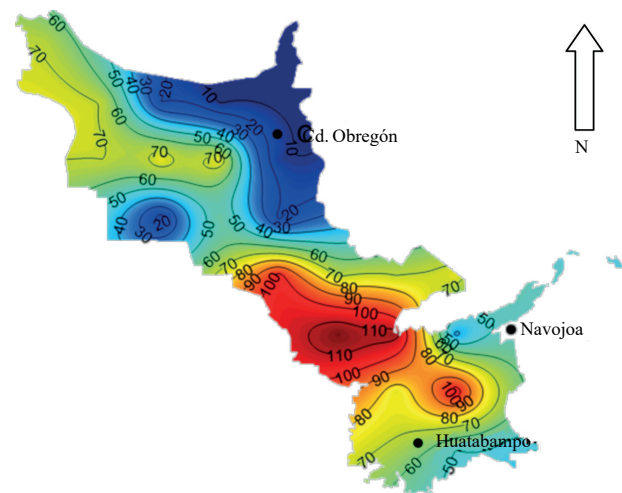


Figura 7. Mapas de los números de días con condiciones favorables para infección de la roya de la hoja del trigo en el Sur de Sonora. Escenario 2020.

Figure 7. Maps of the numbers of days with favourable conditions for infection of leaf rust of wheat in southern Sonora. Scenario 2020.

Stripe rust (*P. striiformis* f. sp. *Tritici*)

Regarding this disease, the favourable conditions in days for the current or recent situation are presented in Figure 9 (2010), where it can be seen that, the range is between 10 and 45, noting that the areas of greatest risk are located on

la infección se iniciará 4-7 días más temprano, además de que el período de susceptibilidad se ampliará de 10 a 20 días, que podría traducirse en un número mayor de aplicaciones de fungicidas (1-4), con el consiguiente incremento de costos y riesgo ambiental, en el noroeste de Estados Unidos.

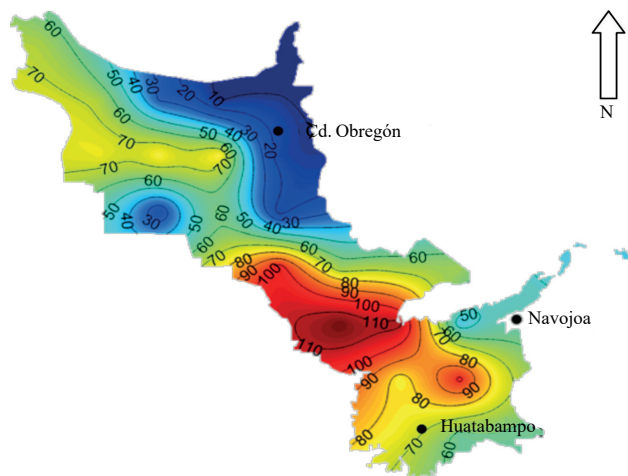


Figura 8. Mapa de los números de días con condiciones favorables para infección de la roya de la hoja del trigo. Sur de Sonora. Escenario 2050.

Figure 8. Map of the numbers of days with favourable conditions for infection of leaf rust of wheat. Southern Sonora. Scenario 2050.

Roya lineal (*P.striiformis* f. sp. *tritici*)

En lo que se refiere a esta enfermedad, las condiciones favorables en días para la situación actual o reciente se presentan en la Figura 9 (escenario 2010), donde puede observarse que el rango oscila entre 10 y 45, destacando que las áreas de mayor riesgo son las ubicadas en las costas del Valle de Huatabampo y la Región del Júpore. En lo que se refiere al Valle del Yaqui, existen mayores condiciones en las regiones de San Ignacio Río Muerto y San José de Bácum. Las áreas aledañas a Ciudad Obregón, tienen bajo riesgo.

Debido a que para los años 2020 y 2050 no existen días con condiciones favorables para la presencia de ésta enfermedad, los mapas por razones obvias no se presentan, lo cual puede ser reflejo de que las temperaturas se estarán incrementando. Lo anterior es congruente con lo expresado por autores como Magaña (2007), que menciona que habrá un aumento de la temperatura media anual de Sonora que oscila entre 1 y 2 °C en el 2020 y de 1.5 a 3°C para 2050.

the coasts of the valley of Huatabampo and the region of Júpore. The valley Yaqui had better conditions in the regions of San Ignacio Río Muerto and San José de Bácum. The areas around Ciudad Obregón have low risk.

Because for the years 2020 and 2050 there were no days with favourable conditions for the presence of this disease, the maps do not show information, which may reflect the temperatures are increasing. This is consistent with the views expressed by authors like Magaña (2007), who mentioned that there will be an increase in the average temperature of Sonora ranging between 1 and 2 °C in 2020 and 1.5 to 3 °C in 2050.

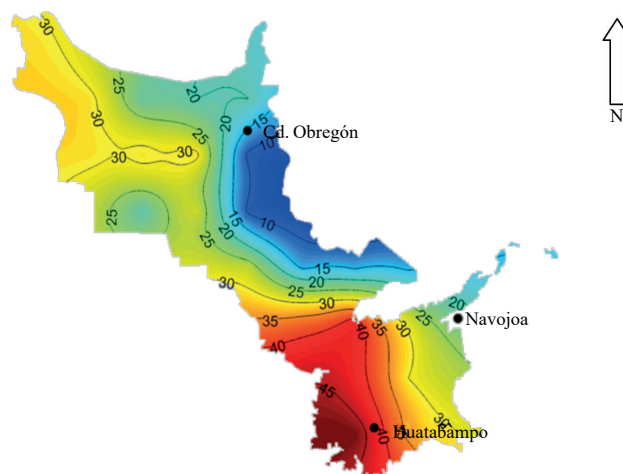


Figura 9. Mapa de los números de días con condiciones favorables para infección de la roya lineal del trigo. Sur de Sonora. Situación reciente. 2010.

Figure 9. Map of the numbers of days with favourable conditions for infection of stripe rust of wheat. Southern Sonora. Recent situation, 2010.

Conclusions

According to the outputs of the proposed scenarios, the number of generations of screwworm's apple would increase 5.4 to 5.9 on average for the region of Costa de Hermosillo, Sonora. This may indicate that control costs would increase, since an application currently costs about 1 100 pesos/ha, for those years and having an area of recommendation domain of 9 000 acres, prices are 5 million pesos only additional for this item.

An increase on days with favorable conditions for leaf rust (60-120), which could cause applications of fungicides remain as an economical method of control,

Conclusiones

De acuerdo a las salidas de los escenarios planteados, se incrementaría el número de generaciones de Gusano Barrenador de la Nuez de 5.4 a 5.9 en promedio, para la región de la Costa de Hermosillo, Sonora. Lo anterior puede indicar que los costos de control se incrementarían, ya que una aplicación cuesta actualmente alrededor de 1 100 pesos/ha, y teniendo para esos años una superficie de dominio de recomendación de 9 mil hectáreas, a precios actuales se erogaría 5 millones pesos adicionales tan solo por este concepto.

Se observa un incremento en los días con condiciones favorables para la roya de la hoja (60 a 120), que podría provocar que las aplicaciones de fungicidas permanezcan como un método económico de control, especialmente en variedades que no tienen buen nivel de tolerancia a la enfermedad, pero que por su alta productividad, todavía se utilizan.

La roya lineal, debido a las condiciones que necesita para su desarrollo, es un caso que no será problema en el futuro de acuerdo con los incrementos de temperatura que se predicen.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Programa de Fondos Fiscales del INIFAP, el financiamiento para el desarrollo de este estudio, que forma parte del proyecto 10235319302: cambio climático y su impacto sobre el potencial productivo agrícola, forrajero y forestal en México.

Literatura citada

Bale, J. G.; Masters, I.; Hodkinson, C.; Awmack, T.; Bezemer, V.; Brown, J.; Butterfield, A.; Buse, J.; Coulson, J. and Farrar J. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob. Chang. Biol.* 8:1-16.

especially in varieties that do not have good tolerance was observed to the disease, but due to its high productivity, are still used.

Stripe rust, because the conditions necessary for its development, is a case that will not be problem in the future according to temperature increases are predicted.

End of the English version



- Cannon, R. J. C. 2008. Annex 1. *In: climate-related transboundary pests and diseases*. Technical background document from the expert consultation Held on 25 to 27 february 2008. FAO, Rome, Italy.
- Contreras, S. C. y Galindo, M. G. 2009. Implicaciones y consecuencias del cambio climático. *Universitarios Potosinos*. Año 5, número 6. UASLP. ISSN-1870-1698. 4-9 pp.
- ECHAM, 2006. Max-Planck-Institut für meteorologie. Hamburg. <http://www.mpimet.mpg.de/en/wissenschaft/modelle/echam.html>.
- Organization of the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). 2008. *Climate-related transboundary pests and diseases*. Technical background document from the expert consultation held on 25 to 27 february 2008. FAO, Rome, Italy.
- García, S. C. 1986. Dinámica de población y combate del barrenador de la nuez *Acrobasis nuxvorella* Neunzing, en la Región Lagunera. 5º día del Nogalero, 1986. *Publicación especial Núm. 23*. 13-22 pp.
- Hamada, E. y Ghini, R. 2011. Impactos del cambio climático en plagas y enfermedades de las plantas en Brasil. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(7):195-205.
- Hijmans, R. J.; Forbes G. A. and Walker, T. S. 2000. Estimating the global severity of potato late blight with GIS-linked disease forecast models. *Plant Path.* 49:697-705.
- Jenkinson, L.; Davis, A.; Wood, S.; Shorrocks, B. and Lawton, J. 1996. Not that simple: global warming and predictions of insect ranges and abundances-results from a model insect assemblage in replicated laboratory ecosystems. *Asp. Appl. Biol.* 45:343-348.
- Jiménez-Díaz, R. M. 2008. Impactos potenciales del cambio climático sobre las enfermedades de los cultivos. *Phytoma España: la revista profesional de sanidad vegetal*. Núm. 203. 64-69 pp.
- Kaukoranta, T. 1996. Impact of global warming on potato late blight: risk, yield loss, and control. *Agric. Food Sci. Finl.* 5:311-327.
- Magaña, V. 2007. <http://www.biodiversityreporting.org/article.sub?docId=26118&c=Mexico-Gulf%20of%20California&cRef=Mexico-Gulf%20of%20California&year=2007&date=>
- Nava, C. U. 1994. Manejo Integrado de plagas. *In: Torres, E. C. y Reyes, J. I. (Eds.). El nogal pecanero*. CELALA-INIFAP. Matamoros, Coahuila. 115-130 pp.
- van Oudenhoven, A. P.; Arnold, E.; van Vliet, J. and Leen, H. and Moraal, G. 2008. Climate change exacerbates the oak processionary caterpillar problem in The Netherlands. *Pests and Climate Change*.