Consideraciones epidemiológicas del cambio climático en la fitosanidad de cultivos tropicales

Epidemiological considerations of climate change on tropical crops health

Mora-Aguilera, G.[1*], Acevedo-Sánchez, G.[1], Calderón-Estrada, G.[2], Flores-Sánchez, J.[1], Domínguez-Monge, S.[1] Peter Baker[3], y González-Gómez, R.[4]. [1]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo-Fitopatología, Texcoco, Edo. de México. [2]Asociación Nacional del Café, Guatemala, Guatemala. [3]CABI, Bakeham Lane, Reino Unido. [4]Dirección de Protección Fitosanitaria-DGSV. México, D. F. *Autor de Correspondencia: morag@colpos.mx

Recibido: Diciembre 01, 2014 **Aceptado**: Enero 28, 2016

Mora-Aguilera G, Acevedo-Sanchez G, Calderon-Estrada G, Flores-Sanchez J, Dominguez-Monje S, Baker P y Gonzalez-Gomez R. 2014. Influencia del Cambio Climatico en la Fitosanidad Tropical. Revista Mexicana de Fitopatologia 32: 147-167.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático antropogénico es un fenómeno favorecido por el incremento de los *"Gases de Efecto Invernadero"* (GEI) en la atmósfera. El cual consiste en cambios de concentración de ozono y otros gases de origen industrial. Los GEI han incrementado significativamente durante los últimas tres décadas debido a la intensiva actividad industrial mundial. Estos gases tienen un efecto directo en el incremento de la temperatura, por lo cual se alteran procesos regulatorios del clima como los ciclos hidrológicos, las variaciones de las corrientes marinas e influencian la periodicidad e intensidad del fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENSO). En un intento por revertir esta tendencia, se han establecido acuerdos internacionales para reducir los efectos negativos ocasionados al

INTRODUCTION

Anthropogenic climate change is a phenomenon favored by the increase of *"Greenhouse gases"* (GG) in the atmosphere. It consists of changes in the concentration of ozone and other gases of industrial origin. Greenhouse gases have increased significantly in the last three decades due to the intense global industrial activity, and have a direct effect on the temperature increase, leading to alterations in climate regulatory processes, such as water cycles, variations in the ocean currents, and they influence the regularity and intensity of El Niño – Southern Oscillation (ENSO). In an attempt to revert this tendency, international agreements have been made to reduce the negative effects on the environment due to industrialization. Among these agreements, the Kyoto protocol in 1997, promoted by the United Nations Organization (UNO), which refers to the commitment of reducing GG by at least 5 % by 2012, in comparison with emissions in 1990 (ONU, 2009). Given that the Protocol expired in 2012, several attempts have been made to ratify it with diverse countries. During the recent

ambiente debido a la industrialización. Entre ellos, el Protocolo de Kioto en 1997, promovido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el cual hace referencia al compromiso de reducir los GEI en al menos un 5 % para el 2012, en comparación con emisiones de 1990 (ONU, 2009). Dado que el Protocolo finalizó su vigencia en el 2012 se han realizado intentos por ratificarlo con diversos países. Durante la reciente cumbre en Rio de Janeiro R+20, el tema central fue el desarrollo sostenible y amigable al ambiente; sin embargo, no se concretaron avances significativos en relación al Protocolo. En diciembre 2012 en la cumbre de Doha en Qatar, se logró acordar un nuevo periodo de compromiso de Kioto por ocho años. Es de destacar que algunos países con alta implicación en la emisión de GEI se niegan a ratificarlo, como es el caso de Japón, Rusia, Canadá y Nueva Zelanda, mientras que países que se comprometieron a reducir sus emisiones durante el segundo periodo de Kioto, generan poco más del 15 % del total de emisiones contaminantes mundiales. Los expertos han reconocido que el acuerdo final no satisface las recomendaciones para reducir el calentamiento que provoca olas de calor, tormentas de arena, huracanes, inundaciones, sequías o la subida de los niveles del mar (UNFCCC, 2012).

Existe abundante información de las consecuencias del cambio climático en diversos ámbitos como el incremento en las tasas de desertificación, incremento de la frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas tropicales y cambios en los patrones de distribución y reproducción de la flora y la fauna (Cuadro 1) (SMN, 2013).

El Fenómeno del Niño

Uno de los indicadores del cambio climático por la industrialización intensiva son las variaciones en el fenómeno natural El Niño-Oscilación del

summit in Rio de Janeiro, R+20, the main topic was sustainable and eco-friendly development; however, no significant advances were specified in relation to the Protocol. En December 2012, in the Doha summit in Qatar, a new period was agreed for the Kyoto protocol for another eight years. It is worth highlighting that some countries with a high implication in the GG emission refuse to ratify it, such as Japan, Russia, Canada, and New Zealand, whereas other countries that committed themselves to reduce their emissions during the second Kyoto protocol produce slightly more than 15 % of the total of the world's polluting agents. Experts have admitted that the final agreement does not satisfy the recommendations for the reduction of the temperature increase caused by heat waves, sandstorms, hurricanes, floods, droughts, or the rising of sea levels (UNFCCC, 2012).

There is extensive information on the consequences of climate change on diverse spheres, such as an increase in rates of desertification, increase in the frequency and intensity of hurricanes and tropical storms, and changes in the patterns of distribution and reproduction of flora and fauna (Table 1) (SMN, 2013).

El Niño

One of the indicators of climate change due to intensive industrialization are the variations of the natural phenomenon known as El Niño-Southern Oscillation (ENSO). ENSO occurs where warm ocean waters reach the Pacific coasts of South America during the summer of the Southern Hemisphere (Niño) or with a strong trade wind system leading to equatorial temperatures to fall (Niña) (NOAA 2012). Any of these conditions, which could be caused by natural fluctuations, lasts for different periods of time and influence the weather variations in temperatures, and

Cuadro 1. Sitios WEB relacionados con el estudio del efecto del cambio climático en el ámbito climatológico, oceánico, agronómico, biológico y social (tasas de migración).
Table 1. Websites related to the study of the effect of climate change on the weather, oceans, agriculture, biology, and society (migration rates).

Entidad responsable	Sitio	Ambito
Centro Internacional para la investigación del fenómeno del niño	http://www.ciifen-int.org/	Oceanografía
Famine early warning system networks	http://www.fews.net/Pages/default.aspx?l=es	Seguridad alimentaria
Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación FAO	http://www.fao.org/climatechange/es/	Seguridad alimentaria
Climate prediction center	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/	Climatología
Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático	http://www.ipcc.ch/	Climatología
Global Hydrology and Climate Center	http://wwwghcc.msfc.nasa.gov/GOES/satlinks.html	Climatología - satelital
Earth Science Office NASA	http://wwwghcc.msfc.nasa.gov/GOES/	Climatología - satelital
Carbon offsets to alleviate poverty	http://cotap.org/cambio-climatico/	Social
Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola	http://www.ifad.org/climate/	Social
Portal regional para la transferencia de tecnología y la acción frente al cambio climático en América latina y el Caribe	http://www.cambioclimatico-regatta.org	Investigación
Naciones Unidas sobre cambio climático	http://www.un.org/es/climatechange/	Agricultura

Sur (ENSO). El ENSO ocurre cuando hay aparición de aguas oceánicas cálidas en las costas del Océano Pacífico de América del Sur, durante el verano del hemisferio sur (Niño) o cuando ocurre un régimen de vientos alisios fuertes desde el este y las temperaturas ecuatoriales se enfrían (Niña) (NOAA 2012). Cualquiera de estas condiciones, las cuales se pueden atribuir a oscilaciones naturales, perdura por intervalos de tiempo distintos e influencian las variaciones del clima en las temperaturas y especialmente en los regímenes pluviales globales. Sin embargo, es ampliamente admitido que el calentamiento de la superficie oceánica debido a actividades antropogénicas está influenciando el incremento en la frecuencia del ENSO, lo cual está estrechamente ligado a la ocurrencia de disturbios atmosféricos como la ocurrencia de altas precipitaciones en la década de 2001-2010, decenio que fue considerado el más húmedo desde 1901 (OMM, 2012).

particularly in global rainfall systems. However, it has been widely admitted that the warming of the surface of the ocean due to anthropogenic activities is influencing the frequency of the ENSO, which is widely related to the occurrence of atmospheric disturbances, such as heavy rainfalls in the decade of 2001-2010, considered the most humid decade since 1901 (OMM, 2012).

To indicate the presence of any of these phenomena, the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, of the U.S.A.), carries out tri-monthly estimations of the Oceanic Niño Index (ONI). The ONI is based on the variations of the average sub superficial temperature (SST) of the equatorial ocean or Niño 3.4 region. When the average tri-monthly estimation of the ONI is a positive value, higher or equal to 0.5 °C, the phenomenon is considered El Niño. On the other hand, when the ONI estimation is lower than or equal to -0.5 °C, the phenomenon is considered

Para indicar la presencia de alguno de estos fenómenos la Administración Nacional del Océano y la Atmosfera (NOAA de EUA), realiza estimaciones trimensuales del Índice Oceánico del Niño (ION). El ION está basado en las variaciones de la temperatura media sub-superficial (TSS) del mar ecuatorial o región niño 3.4. Cuando el cálculo promedio trimensual del ION es un valor positivo mayor que o igual a 0.5 °C, el fenómeno se considera Niño. En contraparte cuando el cálculo del ION es menor que o igual a -0.5 °C, el fenómeno es considerado Niña. Dado que este fenómeno es el resultado de variaciones naturales de las TSS, los cambios en los patrones climáticos implicarían cambios en el comportamiento del ENSO, por lo que se puede considerar que la intensidad del ION puede explicar adecuadamente las variaciones históricas de este. Por lo anterior se propone el Índice Ponderado ION:

$$\text{Índice Ponderado ION} = ION_{max-ij} + ION_{q.75-ij}$$

donde,

ION = Índice Oceánico del Niño;
$ION_{max\text{-}ij}$ = Valor máximo del ION en i = 1950–2012 y j = mes 1–mes 12;
$ION_{q.75-ij}$ = Cuartil 75 del ION en i = 1950–2012 y j= mes 1 – mes 12 $\Big| \geq 4$ meses.

Al aplicar este índice para estimar la intensidad de los eventos es posible confirmar que entre los 80's y 90's hubo menor frecuencia de condiciones frías en el pacífico tropical (Figura, 1B) y una estabilización en la ocurrencia de fenómenos cálidos (Figura, 1A). Sin embargo, desde finales de los 90´s y la primera década del siglo XXI han prevalecido más condiciones frías en el pacífico y los eventos cálidos ocurridos en esta época han sido débiles.

Aunque es de esperar cambios oscilatorios en las propiedades del ENSO debido a un cambio

La Niña. Given that this phenomenon is a result of natural variations of the SST, the changes in the climate patterns would imply changes in the behavior of the ENSO. The intensity of the ONI can therefore be considered as an adequate explanation for its historical variations. Due to this, we propose the ONI Weighted Index:

$$\text{ONI Weighted Index} = ONI_{max-ij} + ONI_{q.75-ij}$$

where,

ONI = Oceanic Niño Index;
$ONI_{max\text{-}ij}$ = Maximum value of ONI in i=1950–2012 and j=month 1–month 12;
$ONI_{q.75-ij}$=Quartile 75 of the ONI in i=1950–2012 and j = month 1 – month 12 $\Big| \geq 4$ months.

By applying this index to estimate the intensity of the events, it is possible to confirm that in the 80's and 90's there was a lower frequency of cold conditions in the tropical Pacific (Figure 1B) and a stabilization in the occurrence of warm phenomena (Figure 1A). However, since the late 1990's and the first decade of the 21st Century, colder conditions have prevailed in the Pacific and in the warm events that took place in this time have been weak.

Although fluctuating changes in the properties of the ENSO due to an anthropogenic climate change are to be expected, the tendency suggests that fluctuating and more variable occurrences of El Niño will increase in years to come, and La Niña will partially reduce its variability, possibly with a steady tendency (Figures 1A and 1B). The latter has clearly influenced the increase in the frequency of rainfalls, which affect biological pest events.

Implication of climate chance in pest occurrence

Variations in the duration and intensity of ENSO affects mainly the temperatures of the

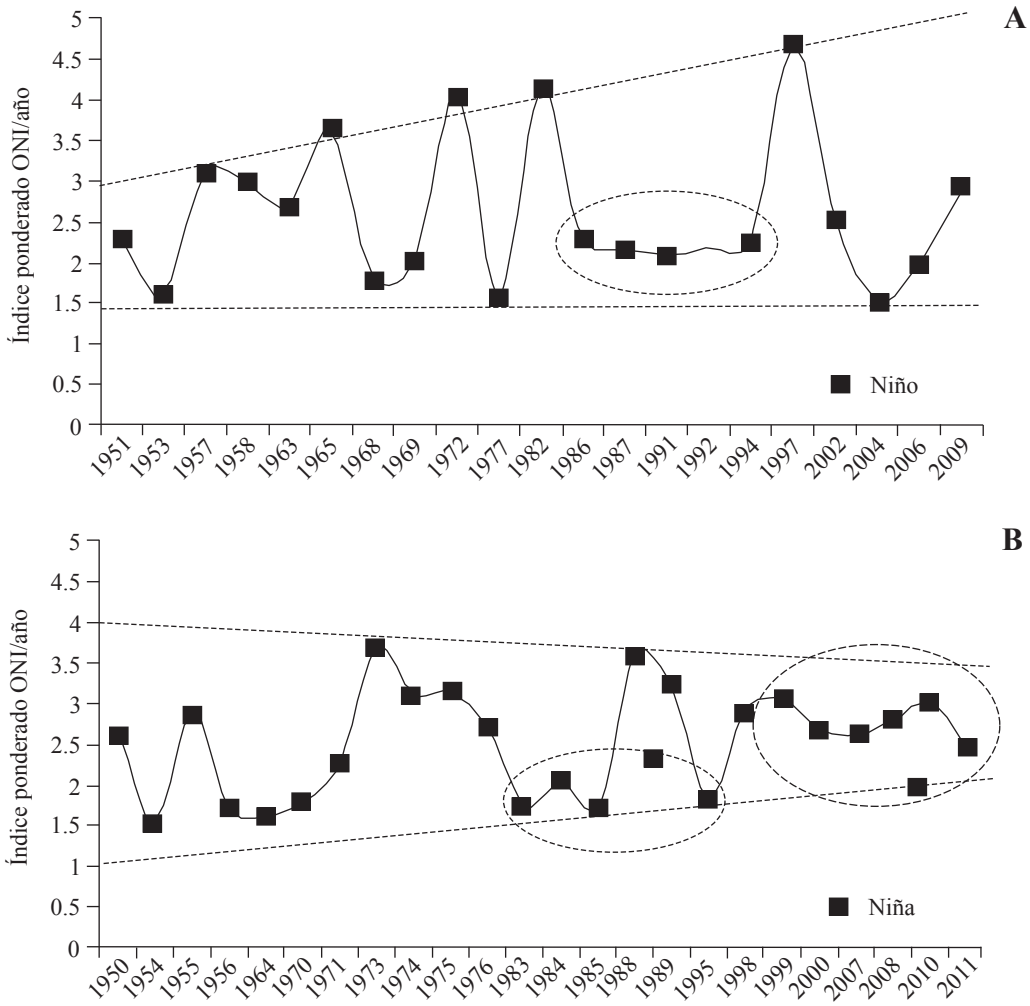

Figura 1. Comportamiento histórico del Índice Ponderado ONI asociado con el fenómeno de El niño-Oscilación del Sur. Datos extraídos y analizados de Changes to the Oceanic Niño Index (ONI), NWS, NOAA de EUA.

Figure 1. Historical behavior of the ONI Weighted Index related to the El niño-Southern Oscillation. Data taken and analyzed from Changes to the Oceanic Niño Index (ONI), NWS, NOAA, U.S.A.

climático antropogénico, la tendencia sugiere que se incrementarán ocurrencias oscilatorias y de mayor variabilidad del fenómeno del niño en años futuros y parcialmente la niña irá reduciendo su variabilidad posiblemente con tendencia estable (Figura 1A y 1B). Este último, claramente ha influenciado el incremento en la frecuencia de las lluvias las cuales afectan eventos biológicos de las plagas.

ocean surface, leading to an increase in rainfall and winds, favoring an increase in the frequency of events such as hurricanes and tropical storms. These phenomena are related to the occurrence and long-distance spreading of quarantine pests for Mexico (r^2=0.97) (Figure 2). Since 1970, there have been approximately 10 hurricanes, 70 % of which were in categories 3–5 with winds of over 170-290

Implicación del cambio climático en ocurrencia de plagas

Las variaciones en duración e intensidad del ENSO, afecta principalmente las temperaturas de la superficie oceánica ocasionando incremento en la precipitación y vientos, lo que favorece un aumento en la frecuencia de fenómenos metereológicos como huracanes y tormentas tropicales. Estos fenómenos se relacionan con la ocurrencia y dispersión a grandes distancias de plagas de carácter cuarentenario para México (r^2=0.97) (Figura 2). A partir de 1977 han ocurrido aproximadamente 10 huracanes, el 70 % se reportaron en la categoría 3–5 con velocidad de vientos entre 170-290 km/hr (SMN, 2013). Se registró dos huracanes antes del año 2000 y ocho posteriores a este. Dichos eventos tienen una relación directa con las plagas cuarentenarias, de las que se detectaron 6 antes del año 2000 y 13 posteriormente (Cuadro 2). Lo anterior, sugiere el efecto indirecto del cambio climático en la ocurrencia de plagas cuarentenarias debido al aumento de estos fenómenos meteorológicos.

Similar a lo registrado en México, en países de Centro América se observó un incremento en la ocurrencia de huracanes y tormentas tropicales. En el periodo 1990-2008 hubo un incremento en aproximadamente el triple de ocurrencia con respecto al periodo 1970-1989 (Figura 3) (PROMECAFE, 2013).

La relación entre plagas exóticas detectadas históricamente y el número de huracanes ocurridos en México fue altamente significativa (r^2=0.98). La ocurrencia de plagas tuvo una relación directa con el tiempo, presentando un incremento exponencial en el periodo de los años 2000-2012 para insectos (r^2=0.96) y patógenos sin un vector asociado (r^2=0.82). La ocurrencia de patógenos con vector no tuvo una asociación directa significativa (r^2=0.55) (Figura 4A). La asociación entre

km/h (SMN, 2013). Two hurricanes were recorded before the year 2000 and eight, afterwards. These events have a direct relation with quarantine pests, 6 of which were found before the year 2000 and 13 afterwards (Table 2). This suggests the indirect effect of climate change on the occurrence of quarantine pests due to the increase in the frequency of these events.

Similarly to Mexico, Central American countries observed an increase in the frequency of hurricanes and tropical storms. From 1990 to 2008, occurrence approximately tripled in comparison to the 1970 - 1989 period (Figure 3) (PROMECAFE, 2013).

The proportion between exotic pests found historically and the number of hurricanes that hit Mexico was highly significant (r^2=0.98). The occurrence of pests had a direct relation with time, presenting an exponential increase in the period between years 2000 and 2012 for insects (r^2=0.96) and pathogens without an associated

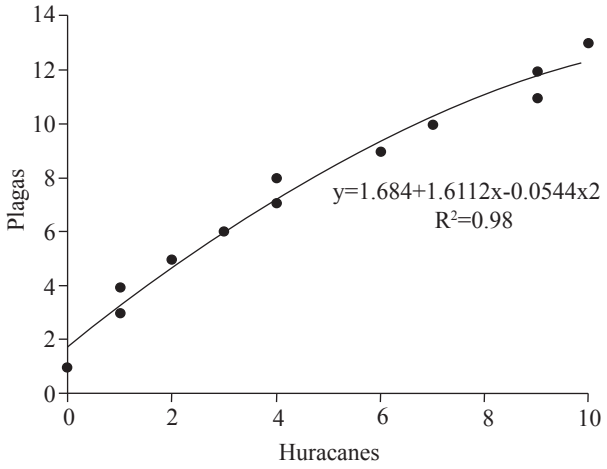

Figura 2. Relación de detección de plagas exóticas (acumuladas) en México de 1977-2012 y huracanes que han tocado tierra en México para el mismo periodo.

Figure 2. Proportion of exotic pest findings (accumulated) in Mexico from 1977-2012 and hurricanes that have hit Mexico for the same period.

Cuadro 2. Descripción histórica de la relación de huracanes y plagas exóticas, registrados en México en el periodo de 1977-2012.
Table 2. Historical description of the relation between hurricanes and exotic pests recorded in Mexico in the period 1977-2012.

Año	Plaga	Lugar de la detección	Huracán	Velocidad	Dirección viento
1977	ALC	Cozumel, Qroo.	-	-	-
1978	Broca del Café	Cacahuatán, Chiapas	-	-	-
1982	CTV	Tamaulipas	-	-	-
1988	-	-	Gilberto	215 km/hr	Oeste
1991	Moko del Plátano	Tabasco	-	-	-
1994	Minador Hoja Cítricos	Península Yucatán	-	-	-
1998	-	-	Mitch	290 km/hr	Oeste Suroeste
2000	*T.citricida*	Quintana Roo y Yucatán	Keith	210 km/hr	Sureste-Noroeste
2002	*D. citri* / E. Pierce	Tizimín / Baja California	-	-	-
2003	-	-	Erika	175 km/hr	Oeste
2004	*Trips palmi* / Leprosis de los cítricos / Cochinilla Rosada	Campeche / Chiapas / BC, Bahía bamderas, Nayarit y Jalisco	-	-	-
2005	Roya Asiática	Tamaulipas y San Luis Potosí	Emily	260 km/hr	Oeste-Noroeste
2005	-	-	Wilma	250 km/ hr	Oeste-Suroeste
2006	Palomilla Nopal	Quintana Roo	-	-	-
2008	-	-	Norbert	165 km/hr	Pacífico-Noreste
2009	HLB / Acaro Rojo	Tizimín, Yucatán / Isla Mujeres	Andrés	120 km/hr	Sur-Pacífico
2010	-	-	Alex	175 km/hr	Sureste - Noreste
2011	Mosca del Vinagre / Carbón parcial / Roya anaranjada	Michoacán / Sinaloa y Sonora / Veracruz	-	-	-
2012	Roya del Cafeto	Chiapas	Ernesto	155 km/hr	Sureste-Noreste

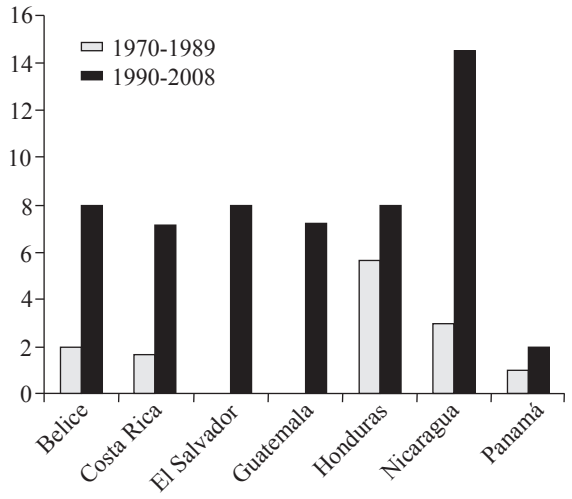

Figura 3. úmero de huracanes y tormentas tropicales en países de Centro América del año 1970 al 2008.
Figure 3. Number of hurricanes and tropical storms in Central American countries from 1970 to 2008.

vector (r^2=0.82). The occurrence of pathogens with a vector had no direct significant association (r^2=0.55) (Figure 4A). The association between insect pests and the number of hurricanes was of r^2 = 0.95, and between pathogens with and without vectors had an association of r^2 = 0.84 y 0.82, respectively (Figure 4B).

The study of the effect of climate change in plant diseases is an experimental and conceptual challenge, since the development and epidemic progress of a disease requires the interaction of various factors. These factors include the genetics of the host, the agronomic and plant health management, the pathogen itself, and weather. Therefore, the basic biological processes such as pathogenesis, survival, and dissemination, which mechanistically explain an epidemic process,

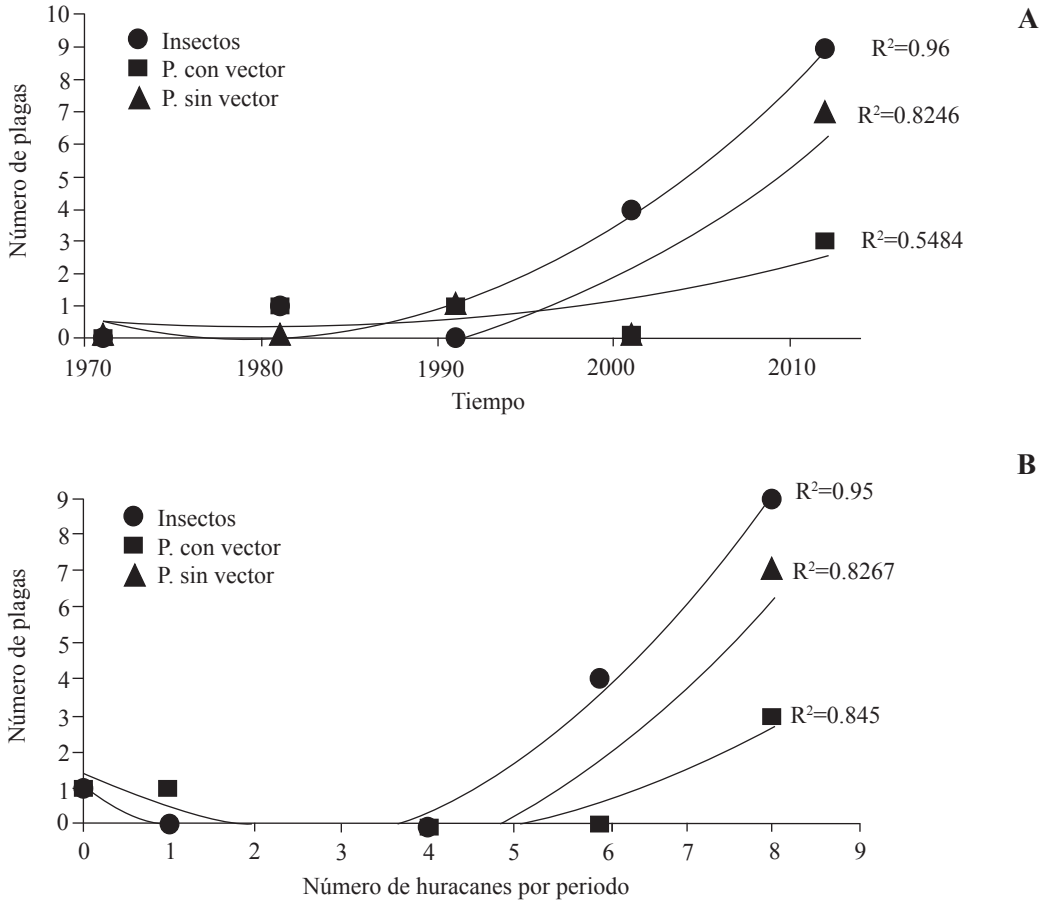

Figura 4. Relación del número de plagas con periodos de detección a intervalos de 10 años en México según reportes oficiales **A.** y relación con el número de huracanes ocurridos en mismos intervalos de tiempo de 1971 al 2012 **B.** Con datos de SENASICA y Servicio Meteorológico Nacional, respectivamente.

Figure 4. Relation of the number of pests with detection period intervals of 10 years in Mexico according to official reports **A.** and relation with number of hurricanes occurred in equal time intervals between 1971 to 2012 **B.** With data from SENASICA and the National Weather Service, respectively.

plagas insectiles con el número de huracanes fue de r^2=0.95 y el de patógenos con vector y sin vector tuvo una asociación de r^2=0.84 y 0.82, respectivamente (Figura 4B).

El estudio del efecto del cambio climático en las enfermedades de plantas constituye un reto experimental y conceptual debido a que el desarrollo y progreso epidémico de una enfermedad requiere de la interacción de varios factores. Estos factores incluyen, la genética del hospedante, el manejo

are essentially multi-factorial and do not depend only on climate variables. In addition, this type of research requires historical evaluations to help understand possible climate variation patterns. Due to this, although the effects of climate change are undeniable, its estimation has not been entirely clarified by scientific studies. To date, this effect has been determined mainly by forecast models, which integrate mostly the climate factor as a component of the model. In addition, some requirements have

agronómico y fitosanitario, el patógeno en sí mismo y el clima. Por lo tanto, los procesos biológicos fundamentales como patogénesis, sobrevivencia y dispersión, los cuales explican mecanísticamente un proceso epidémico son esencialmente multifactoriales y no dependen únicamente de variables climáticas. Adicionalmente, este tipo de investigación requiere de evaluaciones históricas para coadyuvar el entendimiento de posibles patrones de variación climática. Por lo anterior, la estimación del efecto del cambio climático aunque innegable, aún no está totalmente esclarecida con estudios científicos. A la fecha, este efecto ha sido determinado principalmente a través de modelos de pronóstico, los cuales integran principalmente al factor clima como componente del modelo. Adicionalmente, se han sugerido algunos requerimientos para el estudio del cambio climático (Cuadro 3) (Garret *et al*., 2009).

En general existen pocos estudios relativos al impacto climático en la fitosanidad (Garret *et al*., 2013; Caubel *et al*., 2012 Garret *et al.,* 2009), a pesar de que existe una tendencia en cambios de intensidad y/o ocurrencia de eventos epidémicos regionales causados por la reemergencia de problemas fitosanitarios previamente considerados de baja prevalencia y reducido impacto económico. El efecto del cambio climático en la fitosanidad biológicamente viable dado que los microorganismos se caracterizan por su ciclo corto y tasas reproductivas fuertemente influenciadas por las variaciones ambientales. Lo anterior permitiría pronosticar el incremento y ocurrencia de patógenos y estimar su importancia sanitaria y económica. A su vez sería posible prevenir riesgos en la seguridad alimentaria regional. Adicionalmente, se podrían generar indicadores microbiológicos del efecto del cambio climático en el ambiente bajo horizontes de tiempo relativamente cortos.

Los patosistemas tropicales. i.e. aquellos constituidos por un agente patogénico y una especie

been suggested for the study of climate change (Table 3) (Garret *et al*., 2009).

In general terms, there are few studies on the impact of climate on plant health (Garret *et al.,* 2013; Caubel *et al*., 2012 Garret *et al*., 2009), although there is a tendency towards changes in intensity and/or occurrence of regional epidemic events caused by the reemergence of plant health problems previously considered to be of low prevalence and economic impact. The effect of climate change on plant health is biologically feasible, given that microorganisms have brief cycles and their reproductive rates are heavily influenced by environmental variations. This would help forecast the increase and occurrence of pathogens, and to estimate their sanitary and economic importance. At the same time, it would be possible to prevent risks in regional food security. Likewise, microbiological indicators could be created of the effect of climate change in the environment under relatively short periods of time.

Tropical pathosystems, i.e. those made up of a pathogenic agent and a tropical species as a host,

Cuadro 3. Requerimientos para el estudio del efecto del cambio climático en enfermedades de plantas. (Fuente: Garret *et al*., 2009).

Table 3. Requirements for the study of the effect of climate change on plant diseases. (Source: Garret *et al*., 2009).

Número	Indicador
1	El patógeno debe estar presente en el área de interés.
2	El hospedante y patógeno bajo estudio no ha generado resistencia entre ellos.
3	El manejo agronómico y fitosanitario del cultivo no se han modificado.
4	Los requerimientos de variables del clima por el patógeno-vector se mantienen inalterados.
5	Considerar el cambio en el patrón de la enfermedad con respecto a cambios en el clima

tropical como hospedante, pueden aportar indicios del efecto del cambio climático a través de indicadores biológicos asociados. Un factor que favorece la identificación de indicadores es la asociación del organismo con hospedantes perenes, ya que permite estudios históricos de procesos fitosanitarios. En hospedantes como café (*Coffea arabica*), aguacate (*Persea americana*), plátano (*Musa* spp), cacao (*Theobroma cacao*), cocotero (*Cocos nucifera*) y cítricos (*Citrus* spp.) se han realizado estudios epidemiológicos en distintos horizontes de tiempo y espacio que evidencian cambios en la intensidad de las epidemias.

La roya del café: Un estudio de caso

La roya del café constituye un caso actual de cambios de intensidad epidemiológica putativamente asociada al cambio climático. En México, esta enfermedad fue detectada por primera vez en Chiapas en los años 80´s con incidencia máxima del 100% (Figura 5A). Gradualmente el patógeno se adaptó al agrosistema y el productor optó por convivir con la enfermedad debido al bajo impacto de pérdidas en la producción.

A partir del año 2008 se detectó un incremento en la intensidad de las epidemias, en países de Sudamérica. Este incremento ocurrió posteriormente en los años 2010-2012 en países de Centro América productores de café. El incremento de roya en México se evidenció a finales del año 2012 con tasas epidémicas e incidencias estimadas hasta del 100 % (Figura 5B). Hasta el momento no se ha confirmado la existencia de una nueva raza de *Hemileia vastatrix* y se considera que el manejo agronómico y fitosanitario del cultivo es el mismo en las áreas de producción de café (CENICAFÉ, 2012). Esto sugiere que el clima es el factor inductor de los incrementos reportados tal como varios autores concluyen.

could provide clues of the effect of climate change through associated biological indicators. A factor that favors the identification of indicators is the association of the organism with perennial hosts, since it helps carry out historical studies of plant health processes. Epidemiological studies have been carried out in hosts such as coffee (*Coffea arabica*), avocado (*Persea americana*), banana (*Musa* spp), cocoa (*Theobroma cacao*), coconut (*Cocos nucifera*), and citrus fruits (*Citrus* spp.) in different periods of time and spaces that show changes in the intensity of the epidemics.

Coffee rust: A case study

Coffee rust is a current case of changes in epidemiological intensity, putatively related to climate change. In Mexico, this disease was first found in Chiapas in the 1980s, with a maximum incidence of 100 % (Figure 5A). The pathogen gradually adapted to the agro-system and the farmer preferred to coexist with the disease, due to the low impact regarding losses in production.

An increase in the intensity of the epidemics was found, starting in 2008 in South American countries. This increase took place later, in years 2010-2012 in Central American coffee-producing countries. The increase of rust in Mexico became evident in late 2012 with epidemic rates of up to 100 % (Figure 5B). So far there has been no confirmation of a new breed of *Hemileia vastatrix* and the agronomic and plant health management of the crop is considered to be the same in the coffee-producing areas (CENICAFÉ, 2012). This suggests that climate is the factor that induces the increases reported, as several authors conclude.

In order to analyze the increase of the intensity and occurrence of the pathogens and pests, it is necessary to consider that historically variations show fluctuation, mainly in temperature with regard

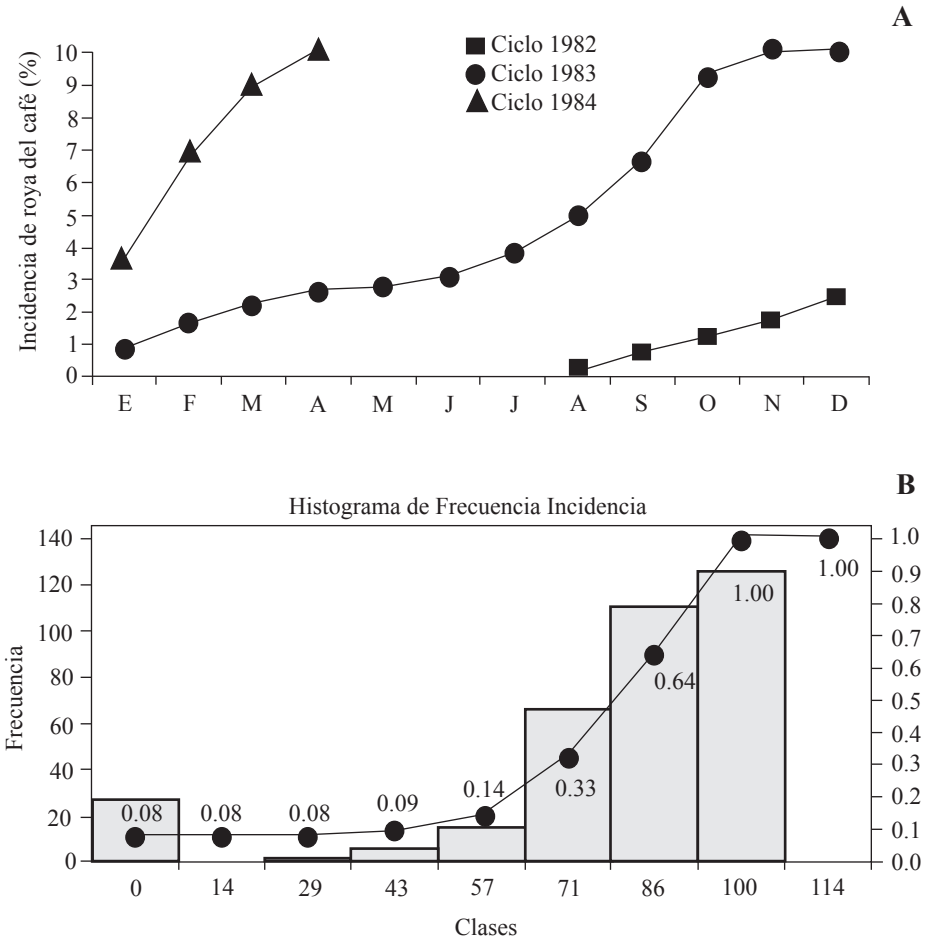

Figura 5. Incidencia de *Hemileia vastatrix*. A. Ciclos de 1982-1984 en Chiapas a 780 msnm, B. Histograma de frecuencias de la incidencia de roya, la cual incluye la curva de frecuencias acumuladas obtenida con datos de SICAFI a nivel nacional del 1 de enero al 8 de marzo de 2013.

Figure 5. Incidence of *Hemileia vastatrix*. A. Cycles in 1982-1984 in Chiapas at 780 masl, B. Histogram of frequencies of rust incidence, which includes the curve of accumulated frequencies, obtained using national data from SICAFI from January 1 to March 8, 2013.

Para analizar el incremento de la intensidad y ocurrencia de los patógenos y plagas es necesario tomar en cuenta que históricamente las variaciones climáticas muestran fluctuaciones, principalmente de la temperatura con respecto al promedio anual. En general, de 1850 al 2000 hubo una tendencia de incremento (r^2=0.72). En la Figura 6, se observa que de 1850 a 1870 se registró una reducción de 0.2 °C en la temperatura; sin embargo, seguido a este evento

to the annual average. In general, from 1850 to 2000, there was an increasing tendency (r^2=0.72). Figure 6 shows that from 1850 to 1870 there was a temperature reduction of 0.2 °C; however, after this, there was an increase in the historical average. Between 1870 and 1910, this temperature repeated itself in the following 50 years with similar periods and durations. Starting in 1950, a period of temperatures slightly below the average was

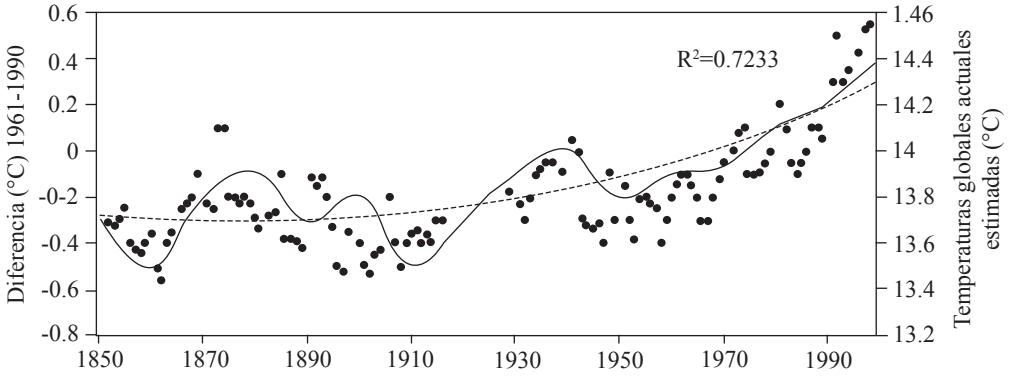

Figura 6. Variaciones de la temperatura de la superficie de la tierra de 1850-2000. Fuente: IPCC, 2013.
Figure 6. Variations in temperature of the soil surface from 1850 to 2000. Source: IPCC, 2013

ocurrió un incremento respecto a la media histórica. Entre 1870 a 1910, dicho patrón de variación de la temperatura se repitió en los siguientes 50 años con periodos y duraciones similares. Se observa que a partir del año 1950 ocurrió un periodo de temperaturas ligeramente por debajo de la media es seguido por una tendencia de incremento hasta el año 2000.

Aparentes variaciones entre temperaturas mínimas y máximas pueden ocasionar modificaciones en la fenología de las plantas en adición a la biología y comportamiento de plagas en general, lo que justifica la necesidad de estudios sobre las variaciones en periodos de tiempo que permitan evaluar etapas críticas en las plagas incluyendo aquellas de baja prevalencia pero con potencial epidémico.

En el caso de la roya del cafeto para analizar el posible efecto de dichas variaciones fue necesario realizar combinaciones de variables climáticas que puedieran favorecer eventos específicos del proceso de patogénesis. En particular se estudió el evento de germinación de las esporas y penetración del hongo en las hojas de café, con el fin de desarrollar modelos de detección temprana bajo la premisa del efecto inductivo del clima (Figura 7).

En la roya del café estos dos procesos requieren de la combinación de temperaturas entre 20 a 22 °C,

observed, and followed by a tendency to increase until the year 2000.

Apparent variations between minimum and maximum temperatures can cause modifications in the phenology of plants, as well as in the biology and behavior of plants in general, which justifies the need to study the variations in time periods which help evaluate critical stages in pests, including those with low prevalence, but with epidemic potentials.

In coffee rust, to analyze the possible effect of such variations, it was necessary to combine climate variables that could favor specific events of the pathogenesis process. In particular, we studied the germination of spores and penetration of the fungus in coffee leaves with the purpose of developing early discovery models under the premise of the inductive effect of the climate (Figure 7).

In coffee rust, these two processes require the combination of temperatures between 20 and 22 °C, the presence of liquid water, and a low light intensity (SENASICA, 2013); these conditions occur mainly between 1am and 9am. The combination of the climate variables described above, related to increases or decreases of rust estimated with the calculation of areas under the disease progress curve (AUDPC), was named "*windows of climatic*

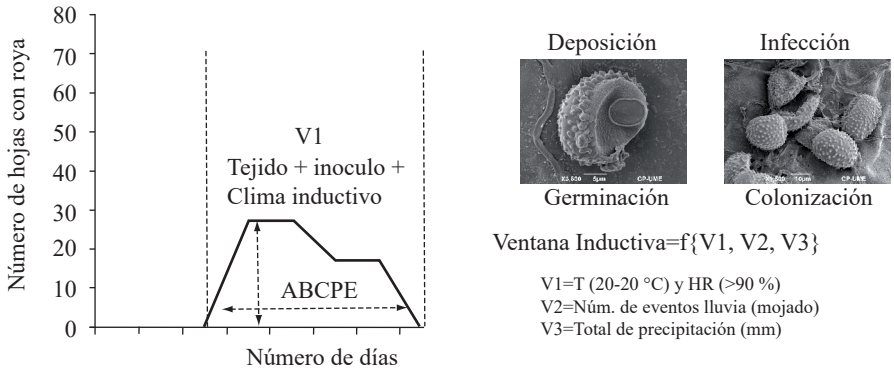

Figura 7. Concepto de la relación de las *ventanas de inductividad climáticas* y procesos biológicos de germinación y penetración de *Hemileia vastatrix* en cafeto.

Figure 7. Concept of the relation of the *windows of climatic inductivity* and biological processes of germination and penetration of *Hemileia vastatrix* in coffee.

presencia de agua líquida y baja intensidad lumínica (SENASICA, 2013); condiciones que principalmente ocurren de la 1am a las 9 am. A la combinación de las variables climáticas anteriormente descritas, asociadas con incrementos o decrementos de la roya estimados con el cálculo de áreas bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), se le denominó "*ventanas de inductividad climática*" (VIC) (Figura 7) (Mora-Aguilera *et al.*, 2012). Estas VIC fueron estudiadas en intervalos de tiempo que relacionaron la cantidad de inóculo, cantidad de hojas del hospedero y las combinaciones de variables climáticas favorables para el incremento de la epidemia durante los años 2009-2010.

Se debe considerar que el estudio independiente de variables puede generar resultados parciales del fenómeno de incremento de roya y no se evidencia claramente el efecto del clima en rangos cortos de tiempo (Figura 8A). Sin embargo, al adicionar variables en función de la combinación de condiciones que favorecen el periodo de infección tales como horas favorables (T: 20-22°C, HR: >90 %) en adición al número de eventos de lluvia y mm de lluvia acumulados por semana, se obtiene una mejor comprensión del evento biológico. Así

inductivity" (WCI) (Figure 7) (Mora-Aguilera *et al.*, 2012). These WCI were studied in time intervals that related the amount of inoculum, amount of host leaves and the combinations of favorable climate conditions for the increase of the epidemic in the years 2009-2010.

It is important to consider that the independent study of variables can produce partial results on the increase of rust, and the effects of climate do not present themselves in short periods of time (Figure 8A). However, when adding variables based on the combination of conditions that favor the infection period such as favorable hours (T: 20-22 °C, HR: >90 %) in addition to the number of rainfalls and mm of rainfall accumulated per week, the biological event can be understood better. In this way, we found that during the years 2007 to 2009, favorable conditions were constant in comparison to the average, and presented no significant increases. However, in the year 2009 favorable conditions increased. The combined accumulated values were adjusted to a quadratic model that suggests that the favorable conditions will continue to increase in a constant manner in upcoming years (r^2=0.71) (Figure 8B).

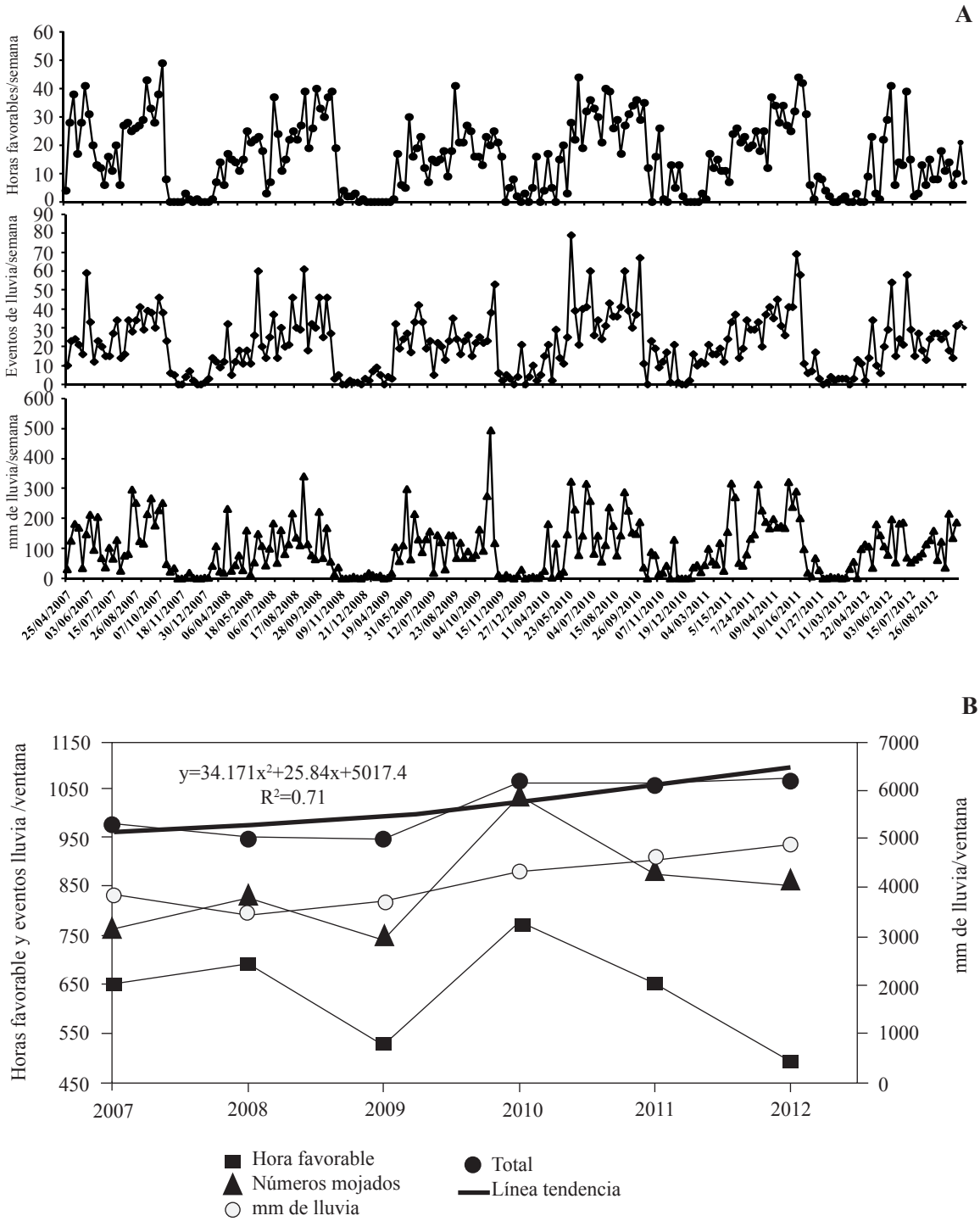

Figura 8. Estudio de las variables climáticas que favorecen el incremento de intensidad de la roya del café, A. condiciones ambientales favorables acumuladas por semana y B. variaciones de las ventanas de inductividad climática para la germinación y penetración de la roya del café, bajo las condiciones del departamento de Coatepeque, Guatemala a 600 msnm.

Figure 8. Study of the climate variables that favor the increase in intensity of coffee rust, A. accumulated favorable environmental conditions by week, and B. variations of the windows of climatic inductivity for the germination and penetration of coffee rust, under the conditions of the department of Coatepeque, Guatemala at 600 masl.

se encontró que durante los años 2007 a 2009 las condiciones favorables fueron constantes respecto a la media y no manifestaron incrementos significativos. Sin embargo, a partir del año 2009 ocurrió un incremento de las condiciones favorables. Los valores acumulados combinados se ajustaron a un modelo cuadrático que sugiere que las condiciones favorables mantendrán un incremento constante en los próximos años (r^2=0.71) (Figura 8B).

Esto es congruente con los incrementos de intensidad de roya durante el periodo 2007-2012. Se ha enfatizado que el estudio del cambio climático debe realizarse con series de tiempo históricas; sin embargo, biológicamente estos análisis indican que es posible estudiar horizontes cortos de tiempo sobre todo si se calculan índices que combinan las variables climáticas. Debido a que las variaciones climáticas incluyen cambios de frecuencia, intensidad, distribución y duración de eventos, dichos cambios pueden ser evaluados por medio de la distribución los datos en periodos históricos. Debe considerarse que los cambios son apreciables en series de tiempos acumulados en lugar de eventos independientes.

Adicionalmente, existe una variabilidad natural que debe ser considerada en los estudios climáticos para identificar cambios "extremos" de clima o cambios de tendencias en el tiempo. Los desplazamientos teóricos de la media o normales climáticos propuestos por IPCC, 2013 (Figura 9A), establece que la media de la temperatura sufre un efecto de desplazamiento positivo, elevando las temperaturas máximas. Otros modelos teóricos incluyen el incremento de la varianza pero manteniendo las normales regionales.

En el caso de la roya del café, se analizaron estos modelos teóricos mediante la determinación de VIC anual del 2007-2012. Se observó que anualmente la media, y en menor proporción la varianza, tuvieron un efecto de desplazamiento del 2007-

This is congruent with the increases of rust intensity during the period of 2007-2012. Emphasis has been made on the fact that a study of climate change must be carried out with historical series of time, although biologically these analyses indicate that it is possible to study short timeframes, particularly if we calculate indices that combine the climate variables. These variations include changes in frequency, intensity, distribution, and duration of events, and therefore these changes can be evaluated with the distribution of data in historical periods. We must consider that the changes are perceptible in accumulated series of time, rather than independent events.

In addition, there is a natural variability that must be taken into account in climate studies in order to identify "extreme" climate changes, or changes in tendencies in time. The theoretical displacements of the average or normal climate displacements suggested by IPCC, 2013 (Figure 9A), stipulates that the average temperature undergoes a positive displacement effect, increasing the maximum temperatures. Other theoretical models include the increase of the variance, yet maintaining the regional normal.

These theoretical models were analyzed in coffee rust by finding the annual WCI for 2007-2012. The average, and the variance, to a lesser extent, had a displacement effect for 2007-2012 which increased notoriously in the years 2009 to 2010, which was the last period of greatest productivity for the increase of coffee rust (Figure 9B). These calculations implied a 6-year period, although they required the use of 318,000 measurements of four climate variables from the National Coffee Association (ANACAFÉ) weather station network. These findings suggest negative effects of climate change in terms of a higher intensity and range of inductive windows, adequate for the induction of germination and penetration of

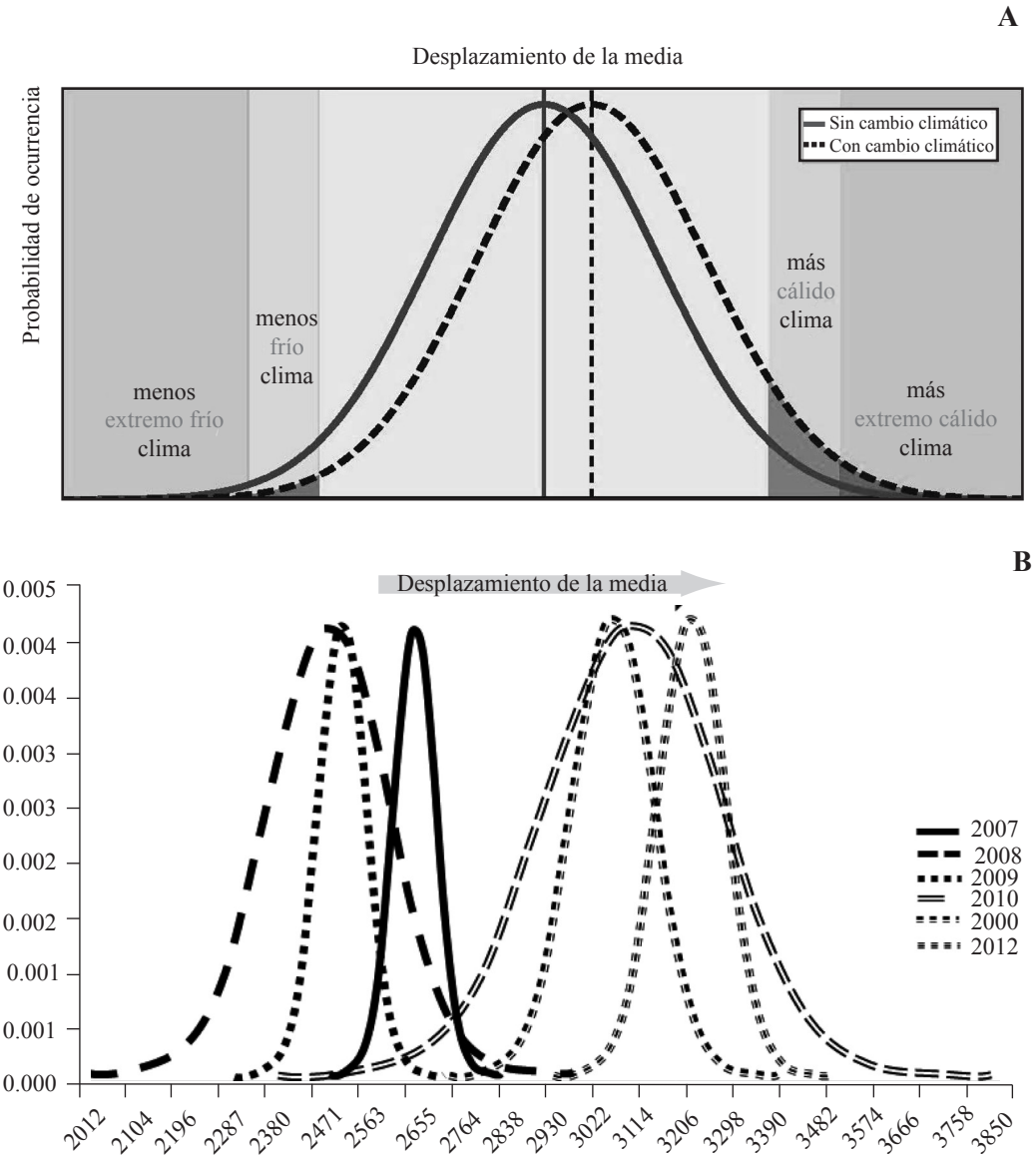

Figura 9. **A.** Curva teórica del desplazamiento de la media de la temperatura histórica debida al cambio climático y **B.** Curvas del desplazamiento de la media y la varianza de la temperatura, humedad relativa y frecuencia e intensidad de lluvia asociadas con la germinación de *Hemileia vastatrix* en café (*Coffea arabica*) en Coatepeque, Guatemala a 600 msnm. Fuente: Castellanos, 2013.

Figure 9. **A.** Theoretical curve of the displacement of the historic average temperature due to climate change, and **B.** Curves for the displacement of the average and temperature variance, relative humidity, and frequency and intensity of the rainfall related to the germination of *Hemileia vastatrix* in coffee (*Coffea arabica*) in Coatepeque, Guatemala at 600 masl. Source: Castellanos, 2013.

2012 e incrementó con mayor notoriedad en los años 2009 al 2010, siendo este último el periodo de mayor inductividad para el incremento de roya del café (Figura 9B). Estos cálculos aunque implicaron

fungal spores; a possible hypothesis could be that the occurrence of high to moderate epidemics in the future may be more frequent, and that current epidemic events regarding rust in Central America

un periodo de 6 años, requirieron el uso de 318,000 mediciones de cuatro variables climáticas de la red de estaciones meteorológica de la Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ). Estos hallazgos sugieren efectos negativos del cambio climático en términos de una mayor intensidad y amplitud de ventanas inductivas propicios para inducir la germinación y penetración de esporas del hongo y podría hipotetizarse que la ocurrencia de altas a moderadas epidemias en el futuro podrían ser más frecuentes y que los actuales eventos epidémicos de la roya en Centroamérica no es un evento esporádico. El conocimiento del efecto del clima en el incremento de la ocurrencia y severidad de la roya, permiten entender el comportamiento epidémico para las condiciones de Guatemala y otras regiones. Con ello es posible estimar modelos de pronósticos basado en niveles de inductividad epidémica. En la Figura 10 se muestran mapas comparativos de las interpolaciones de intensidad de daño en la zona cafetalera de la costa suroccidental de Guatemala. En el mapa de la izquierda se representa la incidencia real en hojas con roya, en comparación, en el lado derecho se muestra la incidencia estimada a través del modelo de *ventanas de inductividad climática* mencionado con anterioridad. Estos resultados actualmente están en validación con datos de epidemias del 2013 obtenidos mediante programas de monitoreo nacionales en México y Guatemala con fines de manejo de la roya.

En general, los sistemas de alerta temprana dirigidos a implementar métodos de control estiman el incremento del organismo en eventos específicos principalmente los relacionados a la patogénesis. Las *ventanas de inductividad climática* consideran dichos eventos para la toma de decisiones oportunas. Sin embargo, es necesario considerar que cada sistema posee sus propios requerimientos de clima. En el Cuadro 4 se muestran los rangos de temperatura de distintos patógenos que infectan cultivos

are not sporadic. Knowing the effect of climate on the increase of the occurrence and severity of rust helps understand the epidemic behavior for the conditions in Guatemala and other regions. With this it is possible to estimate forecast models based on epidemic inductivity levels. Figure 10 shows comparative maps of the damage intensity interpolations in the coffee-growing area of the Southwestern coast of Guatemala. The map on the left shows the real incidence in leaves with rust, and in comparison, map on the right shows the estimated incidence through the model of *windows of climatic inductivity* mentioned earlier. These results are currently under validation with data from epidemics from 2013 obtained through national monitoring programs in Mexico and Guatemala with rust management purposes.

In general terms, the early alert systems aimed at implementing control methods estimate the increase of the organism in specific events, particularly those related to pathogenesis. The *windows of climatic inductivity* take these events into account for timely decision-making. However, it is necessary to consider that each system has its own climate requirements. Table 4 shows the temperature ranges for different pathogens that infect tropical crops, such as coffee rust, which has generally short ranges. This suggests that climate changes could influence the processes of pathogenesis, possibly increasing its epidemic level, and therefore its epidemiological surveillance.

Final Considerations

Tropical pathosystems are more susceptible to the effects of climate change, due specifically to changes in the variables related to dissemination, pathogenesis, and survival. The causal agents with a stronger interaction with the surroundings than with the host, i.e., non-systemic action, could be

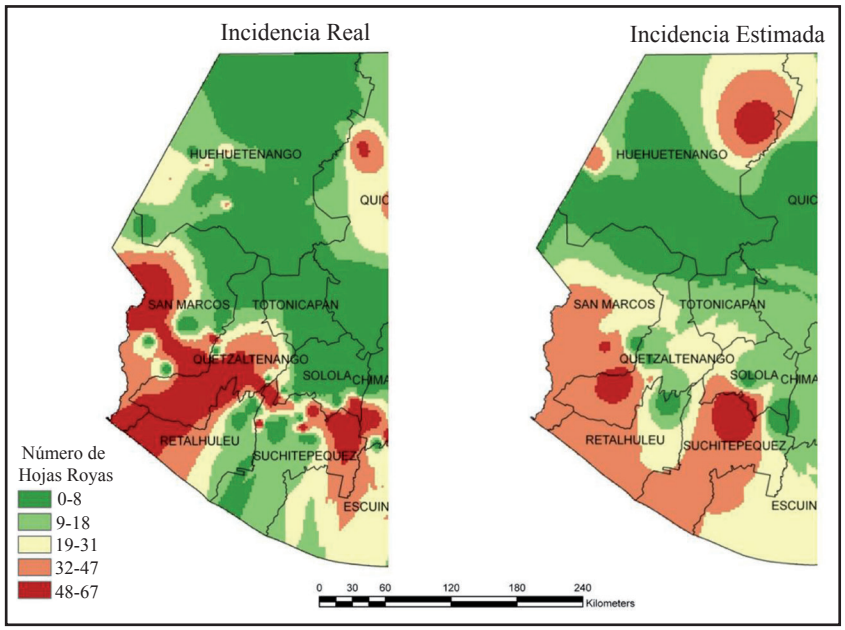

Figura 10. Mapa comparativo de incidencia de hojas con roya real versus incidencia estimada mediante un modelo de estimación denominado ***ventanas de inductividad climática*** con base a las variables de la Figura 6 y 7. Fuente: G. Calderón *et al*., 2012. No publicado.

Figure 10. Map comparing leaves with a real incidence of rust versus the incidence estimated using an estimation model named ***windows of climatic inductivity*** based on the variables in Figures 6 and 7. Source: G. Calderón *et al*., 2012. Not published.

tropicales; como en el caso de la roya del café, los rangos en general son cortos. Esto sugiere que los cambios climáticos podrán influenciar los procesos de patogénesis posiblemente incrementando

the most strongly influenced. A particular case is causal agents that depend on vector insects on which the environment operates most. Additionally, the effect of climate change on hosts is undeniable,

Cuadro 4. Listado de enfermedades en cultivos tropicales y temperaturas de germinación de las esporas.
Table 4. List of diseases in tropical crops and temperatures of germination of spores.

Hospedero	Patógeno	Enfermedad	Germinación
Café (*Coffea arabica*)	*Mycena citricolor*	Ojo de gallo	16 - 19 °C
Café (*Coffea arabica)*	*Hemileia vastatrix*	Roya del café	20 - 22 °C
Mango (*Manguifera indica*)	*Fusarium oxisporium*	Escoba de bruja	26 - 30 °C
Mango (*Manguifera indica*)	*Oidium manguiferae*	Cenicilla del mango	18 - 25 °C
Tabaco (*Nicotina tabacum*)	*Peronospora tabacina*	Mildiu del tabaco	14 - 21 °C
Tomate (*Lycopopoersicum esculentum*)	*Alternaria solani*	Tizón temprano	21 - 24 °C
Cacao (*Theobroma cacao*)	*Phytophthora palmivora*	Mazorca negra	14 - 21 °C
Limón (*Citrus aurantifolia*)	*Colletotrichum gloesporoides*	Antracnosis	20 - 25 °C
Naranja valencia (*Citrus sinensis*)	*Colletotrichum acutatum*	Antracnosis	19 - 21 °C
Plátano (*Musa sapientum*)	*Mycosphaerella musicola*	Sigatoka amarilla	22 - 30 °C
Cacao (*Theobroma cacao*)	*Moniliophthora perniciosa*	WBD	22 - 24 °C
Naranja valencia (*Citrus sinensis*)	*Elsinoe australis*	Sarna de la naranja	13 - 32 °C

su nivel epidémico por lo cual es su vigilancia epidemiológica.

Consideraciones finales

Los patosistemas tropicales son más susceptibles a sufrir los efectos del cambio climático específicamente por cambios en las variables asociadas a la dispersión, patogénesis y sobrevivencia. Los agentes causales con fuerte interacción con el medio más que con el hospedante, es decir de acción no sistémica, pueden ser los más influenciados. Un caso particular lo constituye agentes causales que dependen de insectos vectores sobre los cuales opera en mayor medida el ambiente. Adicionalmente, es innegable el efecto del cambio climático en hospedantes, en particular los perenes induciendo cambios de periodicidad, frecuencia e intensidad de sus periodos vegetativos y reproductivos, los cuales coadyuvan en la disponibilidad de tejido para los procesos de infección de agentes patogénicos o para la colonización de vectores.

El cambio climático influye en los patosistemas tropicales en al menos los siguientes eventos o procesos:

1. Incremento en las tasas de dispersión por cambios en la frecuencia, intensidad y regionalidad de factores atmosféricos, específicamente vientos asociados a huracanes y ciclones. La ocurrencia *T. citricida,* vector del CTV podría ilustrar este caso.
2. Aumento de tasas de sobrevivencia por incremento en temperaturas mínimas estacionales, reduciéndose el número de eventos que alcanzan los umbrales de sobrevivencia. En algunos casos, el incremento de temperaturas máximas estacionales podrían ser un factor restrictivo. Ejemplos: reducción de prevalencia de CLam en HLB-cítricos en Brasil y de variantes agresivas

in particular perennial hosts, inducing changes in periodicity, frequency and intensity of vegetative and reproductive stages, which contribute towards tissue availability for processes of infection by pathological agents or for the colonization of vectors.

Climate change influences tropical pathosystems in at least the following events or processes:

1. Increase in rates of dispersion by changes in the frequency, intensity, and regionality of atmospheric factors, specifically winds related to hurricanes and cyclones. The occurrence of *T. citricida,* vector of the CTV, could illustrate this case.
2. Increase in rates of survival due to increase in minimum seasonal temperatures, reducing the number of events that reach the survival thresholds. In some cases, the rise in maximum seasonal temperatures could be a restrictive factor. Examples: the reduction in the prevalence of CLam in HLB-citrics in Brazil and aggressive variations of citrus canker in Argentina could have climate-related causes, as well as competence factors.
3. The increase in reproductive cycles due to inductive conditions regarding, basically, temperature and humidity; this is the case of coffee rust. Due to this, epidemic rates may display increases with a greater negative impact on the production and the cost-benefit relation in agricultural processes.
4. The implication of the climate variations on the biological colonization, multiplication, and dissemination events of pests force an increase in biological studies in order to estimate regional epidemiological risks.
5. Climatic variability and its global expression may increase the possibility of producing regional prediction models, an alternative for

del cancro de los cítricos en Argentina podría explicarse por causas climáticas además de factores de competencia.

3. El incremento de ciclos reproductivos por condiciones inductivas básicamente de temperatura y humedad. Caso de la roya del cafeto. Derivado de lo anterior, las tasas epidémicas podrán exhibir incrementos con un mayor impacto negativo en la producción y en la relación beneficio-costo de los procesos de agrícolas.
4. La implicación de las variaciones climáticas sobre los eventos biológicos de colonización, multiplicación y dispersión de las plagas obligan a incrementar la precisión en estudios biológicos con el fin de estimar riesgos epidemiológicos regionales.
5. La variabilidad climática y su expresión global puede incrementar la posibilidad de generar modelos de predicción regional, una alternativa para los sistemas productivos tropicales en general heterogéneos y donde el enfoque parcelario resulta limitante.

heterogeneous tropical production systems in general, and in which the parcel approach is limiting.

End of the English version

LITERATURA CITADA

Arias J., Espinosa J., Rico H., Miranda M., y Chávez, X. 2004. La cenicilla (*Oidium mangiferae* Berthet) del mango en Michoacán. INIFAP, CIRPAC. Campo Experimental Valle de Apatzingán. Folleto Técnico Núm. 1. Apatzingán, Michoacán, México.

Caubel, J., Launay, M., Brun, F., Huard, F. and Brisson, N. 2009. Utilisation D'un Modèle de Culture Couplé À un Modèle De Maladie Pour Quantifier Les Effets Indirects Du Changement Climatique Sur L'épidémie. 10e Conférence Internationale Sur Les Maladies Des Plantes tours 3, 4 et 5 décembre 2012. 434-737.

Castellanos E.J. 2013. Adaptación al Cambio Climático en los Grupos más Vulnerables en Centroamérica y Sudamérica. 5to Informe del IPCC. Seminario Iternacional sobre Desplazamiento Ambiental, Derechos Humanos y Cambio Climático. Universidad de Caldas, Colombia. 6 de Noviembre.

CENICAFÉ. 2012. Programa de investigación científica. Guía técnica: Razas de roya; epidemias de 2008 a 2011. Colombia. Noviembre 2012:425. 8 p.

De Nadai, A. D., Goes, A., de Kuper, K.C., e Bellotte, J.A.M. 2002. Efeito do binômio temperatura e tempo de incubação na germinaçâo de *Colletotrichum acutatum* assoaciado a queda prematura dos frutos cítricos. Fitopatologia Brasileira 27:221.

Garret. K. A., Nita, M., De Wolf, E. D., Gomez, L., and Sparks, A. H. 2009. Plant pathogens as Indicators of Climate Change. Elsevier press. 425-437.

Garret, K. A., Dobson, A. D. M., Kroschel, J., Natarajan, B., Orlandini, S., Tonnang, H. E. Z. and Valdivia, C. 2013. The effects of climate variability and the color of weather time series on agricultural diseases and pests, and on decisions for their management. Agricultural and Forest Metereology. 170:216-227.

Góngora-Canúl, C. Pérez-Hernández, O. Pech-Cauich, O. Escamilla-Bencomo, J. Mora-Aguilera, G. 2004. Gradientes de Diseminación del Amarillamiento Letal en Cocotero (*Cocos nucifera*) en Yucatán, México. Revista Mexicana de Fitopatología. 22:370-376.

IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

Margosian, M. L., Garret, K. A., Hutchinson, M. S. and With, K. A. 2009. Connectivity of the American Agricultural Landscape: Assesing the National Risk of Crop Pest and Disease Spread. BioScience. 59(2): 141-151.

Mora, A. Téliz, D. Mora, G. Sánchez, P. Mercardo, J. 2003. Proceso temporal de "escoba de bruja" (*Fusarium oxysporum* y *F. subglutinans*) en huertos de mango (*Manguifera indica*) CV. Haden en Michoacán, México. Revista Mexicana de Fitopatología. Ciudad Obregón, México. No. 23:1 – 12.

Mora, G. Flores, J. Domínguez, S. Gonzáles, R. Vallejo, M. Calderón, G. Orozco, E. 2012. Epidemiología de la roya del café Curso de Capacitación técnica de Roya del Cafeto en Chiapas: Plan de emergencia regional. 17 – 18 diciembre 2012. Tapachula, Chiapas,

Muiño, B. González, Y. 2009. *Peronospora hyoscyami f.* Sp. *tabacina*. Variabilidad de las poblaciones en Cuba (I). Revista Fitosanidad. Ciudad de la Habana, Cuba. No. 4:13.

National Oceanic and Atmospheric Administration - Climate Prediction Center. 2013. ENSO Cycle: Recent Evolution, Current Status and Predictions. University Research Court, Maryland, United States of America.

National Oceanic and Atmospheric Administration - Cli-

mate Prediction Center. 2013. ENSO Cold and warm episodes by season, Changes to the Oceanic Niño Index (ONI). University Research Court, Maryland, United States of America.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2013. Revisado Junio, 2013. http://www.un.org/es/climatechange/

Orozco, E. Figueroa, P. Pacheco, A. Calderón, G. 2011. El ojo de gallo: una enfermedad de época lluviosa que se previene en época seca. El Cafetal, la revista del caficultor (Colección 2011) No. 28:4 – 5.

Orozco, M. Robles, M. Vázquez, J. Manzo, G. Timmer, L. 2012. Biología y manejo integrado de antracnosis en cítricos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México. In Simposium Internacional de Citricultura (07, 2012). Veracruz, México. s.p.

PROMECAFE. 2013. In Memoria: First International Coffee Rust Summit. Group 1 Guatemala, Guatemala. Abril 18-23.

Sánchez, G. Guzmán, S. Rodríguez, C. James, A. Orozco, M. 2005. Biología de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet y su interacción con *Musa* spp. Revista Mexicana de Fitopatología. Ciudad Obregón, México. No. 23:87 – 96.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2013. Revisado Julio 2013. http://smn.cna.gob.mx/

SENASICA. 2013. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*). Dirección General de Sanidad Vegetal – Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosaniaria. México, D.F. Ficha Técnica No. 40. 22 p. http://senasica.gob.mx/?idioma=1&doc=19732

SENASICA. 2013. Escoba de bruja en cacao (*Moniliophthora perniciosa*). Dirección General de Sanidad Vegetal – Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosaniaria. México, D.F. Ficha Técnica. 24 p. http://senasica.gob.mx/?idioma=1&doc=19732

SENASICA. 2013. Sarna de la naranja dulce (*Elsinoë australis*). Dirección General de Sanidad Vegetal – Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosaniaria. México, D.F. Ficha Técnica. 16 p. http://senasica.gob.mx/?idioma=1&doc=19732

SENASICA CNRF DGSV. 2012. Análisis de la condición epidemiológica de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix) en el estado de Chiapas en el ciclo productivo del cafeto 2012. Informe Técnico. México, D.F. 32 p.

World Meteorological Organization. 2013. The global climate 2001 – 2010 A decade of climate extremes Summary Report.2012. Geneva 2, Switzerland. WMO – No. 1119.