

## IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LAS PLANTAS EN BRASIL\*

### IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON PLANT DISEASES AND PESTS IN BRAZIL

Emilia Hamada<sup>1§</sup> y Raquel Ghini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>EMBRAPA Environment. Rodovia SP 340, km 127.5. Caixa Postal 69. CEP. 13820-000. Jaguariúna, SP, Brazil. Tel. +55 19 33112720. <sup>§</sup>Corresponding author: emilia@cnpma.embrapa.br.

#### RESUMEN

La evaluación de los impactos del cambio climático en las infestaciones de plagas y epidemias de enfermedades en los cultivos, es necesaria como base para la revisión de las prácticas de manejo y para abordar la manera de mejorar la comprensión y manejo de plagas y enfermedades de plantas, causado por el cambio climático. Debido que las condiciones del clima proyectadas probablemente variarán mucho de una región a otra, se deberán realizar estudios en cada región ecológica teniendo en cuenta las condiciones ambientales específicas. Se presenta una revisión centrada en los impactos del cambio climático por el aumento de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, el aumento de radiación UV-B y la distribución geográfica de plagas y enfermedades de las plantas realizados en Brasil.

**Palabras clave:** concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, distribución geográfica, radiación UV-B.

#### 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

#### ABSTRACT

Assessment of the impacts of climate change on pest infestations and disease epidemics in crops is needed as a basis for revising management practices and addressing ways to improve understanding and management of pest and plant diseases under climate change. As the projected climate conditions will probably vary greatly in the future from region to region of the Earth, studies must be conducted under each ecoregion considering its specific environmental conditions. We present a review focusing on impacts of climate change on rising atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, on rising UV-B radiation, and on geographical distribution of plant diseases and pests of studies conducted in Brazil.

**Key words:** atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, geographical distribution, UV-B radiation.

#### INTRODUCTION

Global atmospheric concentration of greenhouse gases has been increasing largely due to anthropogenic influences, affecting agriculture and natural ecosystems. Rising concentration of CO<sub>2</sub> interacting with elements of climate

\* Recibido: febrero de 2011  
Aceptado: junio de 2011

los ecosistemas naturales. La creciente concentración de CO<sub>2</sub> 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.

El cambio climático aumentará la incertidumbre en la producción de cultivos en los países tropicales, incluyendo a muchos países en desarrollo, donde los cultivos tropicales y las plantaciones pueden constituir una base importante del producto interno bruto (Ghini *et al.*, 2011a) y esto es también motivo de preocupación en Brasil. Por lo tanto, desde el año 2009, EMBRAPA y algunas instituciones asociadas, han llevado a cabo un proyecto de investigación nacional en Brasil, con el objetivo de evaluar los impactos del cambio climático sobre las plagas y enfermedades de las plantas, malas hierbas (proyecto CLIMAPEST, <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/climapest>), en cuanto a los efectos del aumento de la temperatura, radiación UV-B y la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, incluyendo el establecimiento y operación del centro FACE y, la simulación de escenarios futuros de las infestaciones de plagas y epidemias de enfermedades por el cambio climático, mediante la elaboración de mapas de distribución geográfica de riesgo en Brasil. Es necesaria la evaluación de los impactos del cambio climático en las infestaciones de plagas y epidemias de enfermedades en los cultivos, como base para la revisión de las prácticas de manejo y así minimizar las pérdidas en cultivos a la par que cambian las condiciones climáticas.

De acuerdo con Ghini *et al.* (2011a), la capacidad de adaptación de algunos sistemas agrícolas, puede ayudar a minimizar el impacto negativo del cambio climático, con la adopción de nuevos cultivares y otras prácticas; los países en vías de desarrollo probablemente tendrán más dificultades para adaptarse al cambio climático. Los enfoques interdisciplinarios, se deben adoptar para evaluar los efectos del cambio climático sobre las plagas y enfermedades, debido a la complejidad de los procesos bióticos y abióticos involucrados y la falta de conocimiento de cada proceso, agregando incertidumbre a las futuras proyecciones climáticas.

as temperature and rainfall are influencing plant growth and productivity under a changing climate. It is well known how the effects of pest infestations and plant diseases in crops can hamper quality and quantity of agricultural produce and thereby threatening the food security. Despite of their importance, there are few studies on the impact of climate change on pest and diseases.

Climate change will increase uncertainty in the production of many crops in tropical countries, including many developing countries where tropical and plantation crops may form an important basis of the gross domestic product (Ghini *et al.*, 2011a) and this is also a heightened concern in Brazil. So, since 2009, a national research project has been conducted by EMBRAPA and partners institutions in Brazil aiming to assess the impacts of climate change on plant diseases, pests and weeds (CLIMAPEST project, <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/climapest>), approaching the effects of rising temperature, UV-B radiation and atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, including the establishment and operation of FACE facility, and simulating future scenarios of pests infestations and disease epidemics under climate change, by elaborating geographic distribution maps of risk in Brazil. Assessment of the impacts of climate change on pest infestations and disease epidemics in crops is needed as a basis for revising management practices to minimize crop losses as climatic conditions shift.

According to Ghini *et al.* (2011a), the adaptability of some agricultural systems can help minimize the negative impact of climate change with the adoption of new cultivars and other practices; and probably developing countries will have more difficulties adapting to climate change. Interdisciplinary approaches must be adopted to assess the effects of climate change on plant diseases and pests, because of complexity of the processes biotic and abiotic involved and lack of knowledge of each process, adding the uncertainty of future climate projections.

We present a review of studies conducted in Brazil focusing on the three main research approaches related to the effects of climate change on plant diseases and pests: CO<sub>2</sub> enrichment, rising UV-B radiation levels, and changes of geographical distribution of pest and pathogens in plant canopies.

Se presenta una revisión de estudios realizados en Brasil, centrada en la investigación de tres enfoques principales, relacionados con los efectos del cambio climático sobre las plagas y enfermedades: el enriquecimiento del CO<sub>2</sub>, el aumento de los niveles de radiación UV-B, y los cambios de la distribución geográfica de las plagas y patógenos en el dosel de las plantas.

## Enfoques de investigación

### Impactos del aumento de la concentración atmosférica de dióxido de carbono

La concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ha llegado a niveles significativamente más altos que los valores de los últimos 800 mil años (Lüthi *et al.*, 2008) y se prevé un aumento de forma continua (IPCC, 2007). Hay un número relativamente grande de estudios sobre los efectos beneficiosos de la mayor concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico en el crecimiento vegetal, pero no es bien sabido si estos efectos se llevarán a cabo en presencia de plagas y patógenos. La morfología y la fisiología de las plantas podrían ser afectadas, así como el ciclo de éstas, los patógenos y su interacción con los hospederos.

Bajo un ambiente controlado, Santos (2011) evaluó el impacto de las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> en el desarrollo de la marchitez causada por *Ceratocystis fimbriata*, un patógeno del eucalipto muy importante en Brasil. Las plántulas que crecieron bajo altas concentraciones de CO<sub>2</sub> presentaron una menor gravedad e incidencia de la enfermedad así como un periodo de incubación más largo. El desarrollo de las plántulas de eucalipto fue significativamente mayor en los tratamientos con inyección de CO<sub>2</sub>.

Cámaras con techo abierto (CTA) se instalaron en EMBRAPA Environment (Jaguariúna, estado de São Paulo, Brasil; 22° 41' latitud S, 47° longitud W), desde 2005, para evaluar los efectos del aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en enfermedades de las plantas (Figura 1). La CTA son cilindros sin techo de 1.9 m de diámetro y 2 m de altura, contruidos con marco de aluminio cubiertos con plástico transparente. Los ensayos incluyeron tres tratamientos: CTA con concentración elevada de CO<sub>2</sub>, CTA con ambiente atmosférico y, el testigo sin CTA. Los tratamientos fueron asignados al azar en bloques con tres repeticiones. El muestreo de aire, medición de gas e inyección de gas se realizan automáticamente cada 10 min, las 24 horas del día (Figura 1).

## Research approaches

### Impacts of rising atmospheric carbon dioxide concentration

The atmospheric concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) has reached levels significantly higher than values during the last 800 thousand years (Lüthi *et al.*, 2008) and is projected to continuously increase in the future (IPCC, 2007). There are a relatively large number of studies on the beneficial effects of increased concentration of atmospheric CO<sub>2</sub> on plant growth, but it is not well known if these effects will still take place in the presence of pests and pathogens. The morphology and physiology of plants can be affected, as well as the cycle of pests and pathogens and their interaction with hosts.

Under controlled environment, Santos (2011) evaluated the impacts of elevated CO<sub>2</sub> concentrations on the development of wilt caused by *Ceratocystis fimbriata*, a very important eucalyptus' pathogen in Brazil. Plantlets growing under high concentrations of CO<sub>2</sub> had lower severity and incidence of the disease, as well as longer incubation period. The development of eucalyptus plantlets was significantly higher in treatments with CO<sub>2</sub> injection.

Open-top chambers (OTC) are installed at EMBRAPA Environment (Jaguariúna, São Paulo State, Brazil, 22° 41' latitude S, 47° longitude W), since 2005, to evaluate the effects of increasing CO<sub>2</sub> concentration on plant diseases (Figure 1). The OTCs are roofless cylinders measuring 1.9 m in diameter by 2 m in height, and constructed with aluminum frame covered with transparent plastic. The trials included three treatments: OTC with elevated CO<sub>2</sub> concentration, OTC with ambient atmosphere, and control without OTC. The treatments are randomized in blocks with three replications. Air sampling, gas measurement and gas injection are automatically performed at 10-min. intervals, 24-h a day (Figure 1).

On this facility, Lessin and Ghini (2009) studied the effects of high concentrations of atmospheric CO<sub>2</sub> on the severity of powdery mildew (*Microsphaera diffusa*), and on the growth and nodulation of soybean. The mean CO<sub>2</sub> concentrations of OTCs with and without CO<sub>2</sub> injection, and of a control without OTC were 504 ppm, 429 ppm and 424 ppm, respectively, during the day. During 83 days, four soybean cultivars with different levels of resistance to powdery mildew were evaluated: FT-ESTRELA (highly susceptible), EMBRAPA 48 (susceptible), FT-COMETA (moderately resistant) and FT-5 (FORMOSA) (resistant). The high



**Figura 1. Cámaras con techo abierto en EMBRAPA Environment, Jaguariúna, SP, Brasil.**

**Figure 1. Open-top chambers at EMBRAPA Environment, Jaguariúna, SP, Brazil.**

En estas instalaciones, Lessin y Ghini (2009) estudiaron los efectos de altas concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> en la de la gravedad del mildiu de la soya (*Microspheera diffusa*), y en el crecimiento y nodulación de ésta. Las concentraciones medias de CO<sub>2</sub> de los CTA con y sin inyección de CO<sub>2</sub> y, de un testigo sin CTA fueron de 504 ppm, 429 y 424 ppm, respectivamente, durante el día. Durante 83 días, cuatro cultivares de soya con diferentes niveles de resistencia al mildiu fueron evaluados: FT-ESTRELA (altamente susceptible), EMBRAPA 48 (susceptible), FT-COMETA (moderadamente resistente) y FT-5 (FORMOSA) (resistente). La alta concentración de CO<sub>2</sub> resultó agravando la enfermedad de los cuatro cultivares, sin efecto alguno sobre la esporulación del patógeno. Además, hubo un aumento de la altura, peso seco de las raíces y nodulación de *Bradyrhizobium* spp., excepto en el cultivar Formosa.

Posteriormente, Lessin y Ghini (2011) evaluaron los efectos del aumento de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> en la severidad de la roya asiática de la soya, causada por *Phakopsora pachyrhizi* y el crecimiento de las plantas. Las concentraciones de CO<sub>2</sub> del aire de la CTA con y sin inyección de CO<sub>2</sub> y, un tratamiento testigo sin CTA fueron 664 ppm, 463 ppm y 448 ppm, en promedio, respectivamente. La alta concentración de CO<sub>2</sub> reduce la severidad de la enfermedad, pero no la cantidad de uredosporas producidas; también estimuló el crecimiento y nodulación de las plantas.

Braga *et al.* (2006), tienen la hipótesis de que las atmósferas con CO<sub>2</sub> elevado, podrían conducir a la producción de fitoalexinas en distintos cultivares de soya, independientemente de su resistencia al ataque de hongos. Dos cultivares de soya (*Glycine max*, IAC-14 y IAC-18) que

CO<sub>2</sub> concentration resulted in increased disease severity of the four cultivars, but there was no effect on pathogen sporulation. Furthermore, there was an increase of height, dry weight of roots and nodulation by *Bradyrhizobium* spp., except in Formosa cultivar.

Later, Lessin and Ghini (2011) evaluated the effects of increased atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on the severity of Asian soybean rust, caused by *Phakopsora pachyrhizi*, and plant growth. The CO<sub>2</sub> air concentrations of the OTCs with and without CO<sub>2</sub> injection and a control treatment without OTC were 664 ppm, 463 ppm and 448 ppm, on average, respectively. The high concentration of CO<sub>2</sub> reduced the severity of the disease, but not the amount of urediniospores produced; also stimulated the growth and nodulation of the plants.

Braga *et al.* (2006) hypothesized that elevated CO<sub>2</sub> atmospheres could lead to distinct phytoalexin production in soybean cultivars differing in their resistance to fungal attack. Two cultivars of soybean (*Glycine max*, IAC-14 and IAC-18) differing in the resistance to the causal agent of the stem canker disease were subjected to 320 and 720 ppm of CO<sub>2</sub> in open top chambers at Botanical Institute (São Paulo, SP).

The authors observed that exposure to elevated CO<sub>2</sub> stimulated photosynthesis, leaf and cotyledon areas and the enhancement of glyceollin production by the elicitor in the resistant cultivar (IAC-18). No changes were observed in growth parameters (biomass and area of photosynthetic tissues) and phytoalexin response in susceptible cultivar (IAC-14), despite the stimulation of photosynthetic assimilation in cotyledons under high CO<sub>2</sub>. These findings corroborate the assumption that exposure to enriched CO<sub>2</sub> atmospheres can change inducible defensive responses in soybean against pathogens.

The impact of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on rice blast disease, caused by *Pyricularia grisea*, was evaluated in OTCs in EMBRAPA Environment, Jaguariúna, SP, for two years by Gória (2009). The occurrence and severity of the disease were higher for plants grown under elevated CO<sub>2</sub> concentration as well as plant growth. No significant difference was detected on rizosphere chemical and microbiological analysis in the atmosphere with injection of the gas.

CLIMAPEST project built the first FACE (Free Air Carbon Dioxide Enrichment) facility in Latin America and it has been installed at EMBRAPA Environment. Other six OTCs experiments throughout the country (Belém, PA; Petrolina,



difieren en la resistencia al agente causal de la enfermedad del cancro del tallo, fueron sometidos a 320 y 720 ppm de CO<sub>2</sub> en cámaras con techo abierto en el Instituto Botánico (São Paulo, SP).

Los autores observaron que la exposición a niveles elevados de CO<sub>2</sub>, estimula la fotosíntesis en las hojas y los cotiledones y la mejora a la producción gliccolina por el elicitador en el cultivar resistente (IAC-18). No se observaron cambios en los parámetros de crecimiento (biomasa y el área de los tejidos fotosintéticos) y, la respuesta de las fitoalexinas en el cultivar susceptible (IAC-14), a pesar de la estimulación de la asimilación fotosintética en los cotiledones con altos niveles de CO<sub>2</sub>. Estos resultados corroboran la hipótesis que la exposición a atmósferas enriquecidas con CO<sub>2</sub>, pueden cambiar las respuestas de defensa inducidas de la soya contra los patógenos.

El impacto de la elevada concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> sobre la enfermedad del tizón del arroz, causada por *Pyricularia grisea* se evaluó en CTA en EMBRAPA Environment, Jaguariúna, SP, por dos años por Gória (2009). La aparición y severidad de la enfermedad fue mayor para las plantas cultivadas con una concentración elevada de CO<sub>2</sub>, así como el crecimiento de éstas. No se detectaron diferencias significativas en el análisis químico y microbiológico de la rizosfera en la atmósfera con inyección de gas.

El proyecto CLIMAPEST construyó la primera instalación FACE (Free Air Carbon Dioxide Enrichment) en América Latina y fue instalada en EMBRAPA Environment. Otros seis experimentos con CTA fueron instalados en todo el país (Belém, PA; Petrolina, PE; SeteLagoas, MG; Londrina, PR; Jaguariúna, SP y Vacaria, RS). En estos estudios, la gravedad de las enfermedades y plagas, la maleza, el desarrollo de la planta, la interacción con microorganismos, la nutrición vegetal, la producción y otros temas están siendo evaluados (Figura 2).

CLIMAPEST-FACE está diseñado para evaluar los efectos de la alta concentración de CO<sub>2</sub> en las malezas, plagas y enfermedades del café, así como del crecimiento, morfología y fisiología vegetal (Figura 3). Doce anillos de 10 m de diámetro (seis con niveles elevados de CO<sub>2</sub> y seis sin niveles elevados), se han construido cada uno con controladores separados que miden la concentración de CO<sub>2</sub>, la humedad y la temperatura, precipitación, velocidad y dirección del viento, presión barométrica, la temperatura del suelo y la humedad. La instrumentación del sistema se basa en la tecnología de redes de sensores inalámbricos, lo que facilitará la instalación y mantenimiento del sistema y aumentará su portabilidad.

PE; SeteLagoas, MG; Londrina, PR; Jaguariúna, SP; and Vacaria, RS) were installed in the country. In these studies, the severity of diseases and pests, weeds, plant development, interaction with microorganisms, plant nutrition, production and others is being evaluated (Figure 2).



**Figura 2. Cámaras con techo abierto del proyecto CLIMAPEST.**  
**Figure 2. Open-top chambers of the CLIMAPEST project.**

CLIMAPEST-FACE is designed to evaluate the effects of high CO<sub>2</sub> concentration on coffee diseases, pests and weeds, as well as plant growth, morphology and physiology (Figure 3). Twelve 10 m diameter rings (six with elevated CO<sub>2</sub> and six with not elevated) have been built, each with separated controllers that measure CO<sub>2</sub> concentration, air humidity and temperature, precipitation, wind speed and direction, barometric pressure, soil temperature and humidity. The system instrumentation is based on the wireless sensor network technology, which will facilitate the system installation and maintenance, and will increase its portability.



**Figura 3. Instalaciones CLIMAPEST FACE en EMBRAPA Environment, Jaguariúna, SP, Brasil.**  
**Figure 3. CLIMAPEST FACE facility at EMBRAPA Environment, Jaguariúna, SP, Brazil.**

## Impacto del aumento de radiación UV-B

Según Li *et al.* (2010), a cerca de las condiciones de 1979 a 1992, del Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS), se estima que el incremento máximo de la dosis anual de radiación UV del hemisferio norte será de 14% en el periodo 2010-2020, mientras que un incremento del 40% se espera entre 2010 y 2020 en el hemisferio sur. Los efectos del aumento de la radiación UV-B en las interacciones planta-patógeno, han sido estudiados en unos pocos patosistemas. Además, hay pocos resultados sobre los efectos sobre la microbiana beneficiosa, sobre todo en agentes de control biológico, microorganismos simbióticos y los microbios no cultivables.

En Brasil, Saber (2011) evaluó el efecto de la radiación B ultravioleta sobre la diversidad de bacterias epifitas de dos cultivares de soya, la resistencia de las cepas aisladas a la radiación e investigó el potencial antagonista de los microorganismos filósfera natales de soya. En general, el análisis de DGGE mostró diferencias significativas en la comunidad de bacterias epifitas de los cultivos de soya, de acuerdo a la etapa de desarrollo de la planta, así como comparado con el aumento de la radiación entrante. Costa (2011) estudió el efecto del incremento de la radiación UV-B sobre los agentes biológicos de control de enfermedades de la planta (*Trichoderma* y *Clonostachys rosea*) y observó que, la radiación UV-B presenta una fuerte acción deletérea en los conidios de ambos hongos.

## Impactos en la distribución geográfica

Las tendencias de aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico y, el aumento de la temperatura media mundial estará acompañado por una variabilidad climática mucho mayor y los eventos relacionados con el clima serán más extremos, de acuerdo con el IPCC (2007). Detrás de éstas tendencias es mucho más espacial y temporal la heterogeneidad de las proyecciones de los impactos del cambio climático, difiriendo entre las distintas regiones del globo (Chakraborty y Newton, 2011).

Hay una gran variación en las respuestas de diferentes patosistemas, a las variables del ambiente relacionadas con el cambio climático. La distribución de plagas y patógenos son fijados por la distribución, la susceptibilidad y el manejo de los cultivos, los vectores y otros organismos relacionados con la enfermedad, las plagas y el medio ambiente favorable. Por lo tanto, seguramente habrá cambios en la distribución geográfica a causa del cambio climático global en el escenario fitosanitario brasileño.

## Impacts of rising UV-B radiation

According to Li *et al.* (2010), relative to conditions from 1979 to 1992, the Goddard Institute for Space Studies (GISS) estimated that the maximum increase in the annual Northern Hemispheric UV dose will be 14% in 2010-2020, whereas a 40% enhancement is expected between 2010 and 2020 in the Southern Hemisphere. The effects of increased UV-B on plant-pathogen interactions have been studied in only a few pathosystems. Also, there are few results about the effects on beneficial microbiota, especially on biocontrol agents, symbiotic microorganisms, and non-cultivable microbe.

In Brazil, Saber (2011) evaluated the effect of ultraviolet B radiation on the diversity of epiphytic bacterial of two soybean cultivars, the resistance of the isolates under radiation and investigated the antagonistic potential of soybean native phyllosphere microorganisms. In general, the DGGE analysis showed that there were significant differences in the epiphytic bacterial community of soybean cultivars according to the developmental stage of the plant, as compared to the increase of incoming radiation. Costa (2011) studied the effect of the increase of UV-B radiation on biological agents of plant disease control (*Trichoderma* and *Clonostachys rosea*) and observed that UV-B radiation presents strong deleterious action to the conidia of both fungi.

## Impacts on geographical distribution

Trends of rising of atmospheric CO<sub>2</sub> and increasing the global mean temperature will be accompanied by much greater variability in climate and more extreme weather-related events, according to IPCC (2007). Underlying these trends is much spatial and temporal heterogeneity with projections of climate change impacts differing among various regions on the globe (Chakraborty and Newton, 2011).

There is a great variation in the responses from different pathosystems to environment variables related to climate change. Pest and pathogen distributions are set by distribution, susceptibility and management crop, vector and other organisms related to the disease and pest and the favorable environment. Therefore, there will certainly be changes in the geographical distribution caused by global climate change and in the Brazilian phytosanitary scenario.

General circulation models (GCM) are models of the energy exchange process between space, the atmosphere, the oceans and the land, which include specifications of geography,

Los modelos de circulación general (MCG) son aquellos referentes al proceso de intercambio de energía entre el espacio, la atmósfera, los océanos y la tierra, que incluyen especificaciones de la geografía, la composición química de la atmósfera, el océano y muchas otras condiciones (IPCC, 2007). Por lo tanto, proporcionan la mejor orientación acerca de cómo cambiará el clima en respuesta al forzamiento antropogénico, y a su vez, donde las distribuciones de los hospederos han sido relacionados con variables climáticas, los modelos pueden predecir los cambios en el rendimiento de los cultivos y la fenología, si las respuestas económicas a los continuos cambios son ignorados (Shaw y Osborne, 2011).

Los métodos utilizados en las predicciones de la alteración de la distribución geográfica de plagas y enfermedades en el marco del cambio climático varían. Probablemente lo más común es buscar dónde los modelos predicen que se moverán los nichos climáticos, basados en estudios de laboratorio o de experimentos de campo.

Hamada *et al.* (2006) compararon dos metodologías de los mapas de distribución espacial de enfermedades de plantas asociadas a los efectos del cambio climático en Brasil, y lo aplicaron a un caso de estudio del minador de la hoja de café (*Leucoptera coffeella*). Este trabajo aplica las herramientas de geo-procesamiento, los datos del clima y un modelo biológico de la cantidad probable de generaciones de insectos. Ambos métodos se centraron en la década de 2080 (simulación del periodo 2071 a 2100) para el escenario A2.

Uno de los métodos adoptados como el clima futuro, es el aumento de la temperatura media global, usando un valor fijo para Brasil y, en el otro adoptando un aumento de la temperatura con variación espacial, en formato de cuadrícula, que se obtiene por el promedio de cuatro GCM del tercer informe de evaluación (TAR) del IPCC (2001). Aumentos del número probable de los ciclos de los minadores de la hoja de café se observaron en el futuro, en ambos métodos de producción de mapas. Sin embargo, los aumentos fijos de la temperatura media causaron una subestimación del número de ciclos en el futuro, en comparación con el aumento de la adopción de las temperaturas que varían espacialmente. Además de la diferencia estacional, se observó diferencia regional en la aparición del número probable de la generación del minador de la hoja café.

Los probables impactos del cambio climático en la enfermedad de Sigatoka negra del plátano (causada por *Mycosphaerella fijiensis*) en Brasil, fueron estudiados por

chemical compositions of the atmosphere and ocean, and many other conditions (IPCC, 2007). They therefore provide the best guide as to how climate will change in response to anthropogenic forcing; and in turn, for example, where host distributions have been related to climatic variables, the models can predict changes in crop yields and phenology if economic responses to the continuing change are ignored (Shaw and Osborne, 2011).

The methods used in predictions of altered geographic distribution of plant diseases and pests under the climate change vary. Probably the commonest is to look for where the models predict climatic niches to move to, based on laboratory studies or field experiments.

Hamada *et al.* (2006) compared two methodologies of plant disease spatial distribution maps associated to climate change effects in Brazil, applying them to a case study of coffee leaf miner (*Leucoptera coffeella*). This work applied geoprocessing tools, climate data and a biological model of probable number of insect generations. Both methods were centered in the 2080 decade (simulation of the period from 2071 to 2100) for scenario A2.

One method adopted as future climate an increase in the global mean temperature, using a fixed value for all the Brazil and the other one adopted increases of the temperature varying spatially, in grid format, obtained by the average of four GCM of the third assessment report (TAR) of IPCC (2001). Increases of probable number of coffee leaf miner cycles were observed in the future in both methods maps production. However, fixed increases in the average temperature caused an underestimation of the number of cycles in the future compared to adopting increases of temperatures varying spatially. In addition to a seasonal difference, a regional difference was observed in the occurrence of the probable number of generation of the leaf miner coffee.

The probable impacts of climatic changes on black Sigatoka disease of banana (caused by *Mycosphaerella fijiensis*) in Brazil were studied by Ghini *et al.* (2007). Distribution maps of the disease were elaborated using TAR-IPCC scenarios A2 and B2. The maps obtained revealed that there will be a reduction of the favorable area to the disease in the country due to a reduction in relative humidity to levels below 70% in the future projected by the GCM by IPCC. This reduction will be gradual for the 2020, 2050 and 2080 decades, and will be more pronounced in the scenario A2 than in the B2.



Ghini *et al.* (2007). Mapas de distribución de la enfermedad fueron elaborados utilizando TAR-IPCC escenarios A2 y B2. Los mapas obtenidos revelaron que habrá una reducción del área favorable para la enfermedad en el país debido a una reducción en la humedad relativa a niveles por debajo de 70% en el futuro proyectado por el GCM del IPCC. Esta reducción será gradual en las décadas 2020, 2050 y 2080, y será más pronunciada en el escenario A2 que en el B2.

A pesar de esto, áreas extensas de Brasil se mantendrán favorables para la aparición de la enfermedad, especialmente en el periodo de noviembre a abril, que actualmente es el periodo más favorable. También Jesús Júnior *et al.* (2008), estudiaron la Sigatoka negra del plátano, comparando la distribución geográfica mundial de ésta, con la adopción de las proyecciones TAR-IPCC de GCM (escenarios A2 y B2) y el periodo actual. Las predicciones sugieren los mismos resultados obtenidos por Ghini *et al.* (2007) en Brasil y, teniendo en cuenta el aspecto mundial, las áreas favorables para la enfermedad también se reducirán y extensas áreas continuarán siendo favorables para la aparición de la Sigatoka negra.

Los impactos potenciales del cambio climático en la distribución espacial de los nematodos (*Meloidogyne incognita* races) y el minador de hoja (*Leucoptera coffeella*) para el cultivo de café en Brasil, fueron estudiados por Ghini *et al.* (2008). Los escenarios futuros enfocados en las décadas de los 2020, 2050 y 2080 de (escenarios A2 y B2) se obtuvieron a partir de cinco GCM por TAR-IPCC. Los mapas de distribución geográfica se prepararon utilizando modelos para predecir el número de generaciones de nematodos y el minador de hoja. Los mapas obtenidos en el escenario A2 permitieron la predicción del aumento de la infestación del nematodo y de la plaga, debido a un mayor número de generaciones por mes, que aquellas producidas bajo la climatología normal de 1961 hasta 1990. El número de generaciones también aumentó en el escenario B2, pero fue menor que en el escenario A2 para ambos organismos.

Teniendo en cuenta los mapas de las proyecciones del clima futuro de GCM por TAR-IPCC, un equipo de expertos evaluó cualitativamente los impactos potenciales del cambio climático en enfermedades de las plantas de importancia económica para Brasil. Estas evaluaciones y los aspectos metodológicos relacionados fueron descritos en un libro editado por Ghini y Hamada (2008), incluyendo las enfermedades de 14 cultivos: papa, tomate, pimientos, melones, arroz, cereales, maíz, soya, plátano, caña de azúcar,

Despite this, extensive areas in Brazil will remain favorable to the occurrence of the disease, especially in the period of November through April, which is currently the most favorable period. Also Jesus Júnior *et al.* (2008) studied the black sigatoka for banana, comparing the global geographical distribution of the diseased adopting the TAR-IPCC projections of GCM (scenarios A2 e B2) and the current period. The predictions suggested the same results obtained by Ghini *et al.* (2007) in Brazil, and considering the worldwide aspect, the favorable areas for the disease will also decrease and extensive areas will still continue to be favorable for the occurrence of black sigatoka.

The potential climate change impacts on the spatial distribution of nematodes (*Meloidogyne incognita* races) and leaf miner (*Leucoptera coffeella*) for the coffee crop in Brazil was studied by Ghini *et al.* (2008). Future scenarios focused on the decades of the 2020's, 2050's, and 2080's (scenarios A2 and B2) were obtained from five GCM by TAR-IPCC. Geographic distribution maps were prepared using models to predict the number of generations of the nematodes and leaf miner. Maps obtained in scenario A2 allowed prediction of an increased infestation of the nematode and of the pest, due to greater number of generations per month, than occurred under the climatological normal from 1961-1990. The number of generations also increased in the B2 scenario, but was lower than in the A2 scenario for both organisms.

Considering the maps of projections of future climate from GCM by TAR-IPCC, a team of experts assessed qualitatively the potential impacts of climate change on plant diseases of economic significance to Brazil. These assessments and the methodological issues associated were described in a book edited by Ghini and Hamada (2008), including diseases of 14 crops: potatoes, tomatoes, peppers, melons, rice, cereals, corn, soybean, banana, sugarcane, coffee, citrus, rubber, and eucalyptus; and also the impacts on nematodes and biological and chemical control agents.

Recently, a book was edited by Ghini *et al.* (2011b) using a similar procedure but updating the future climatic maps of Brazil, as presented in Figure 4, using the GCM projections based on the Fourth Assessment Report (AR4) of IPCC (2007), and evaluating qualitatively the possible impacts of climate change on epidemics of plant diseases, bacterial

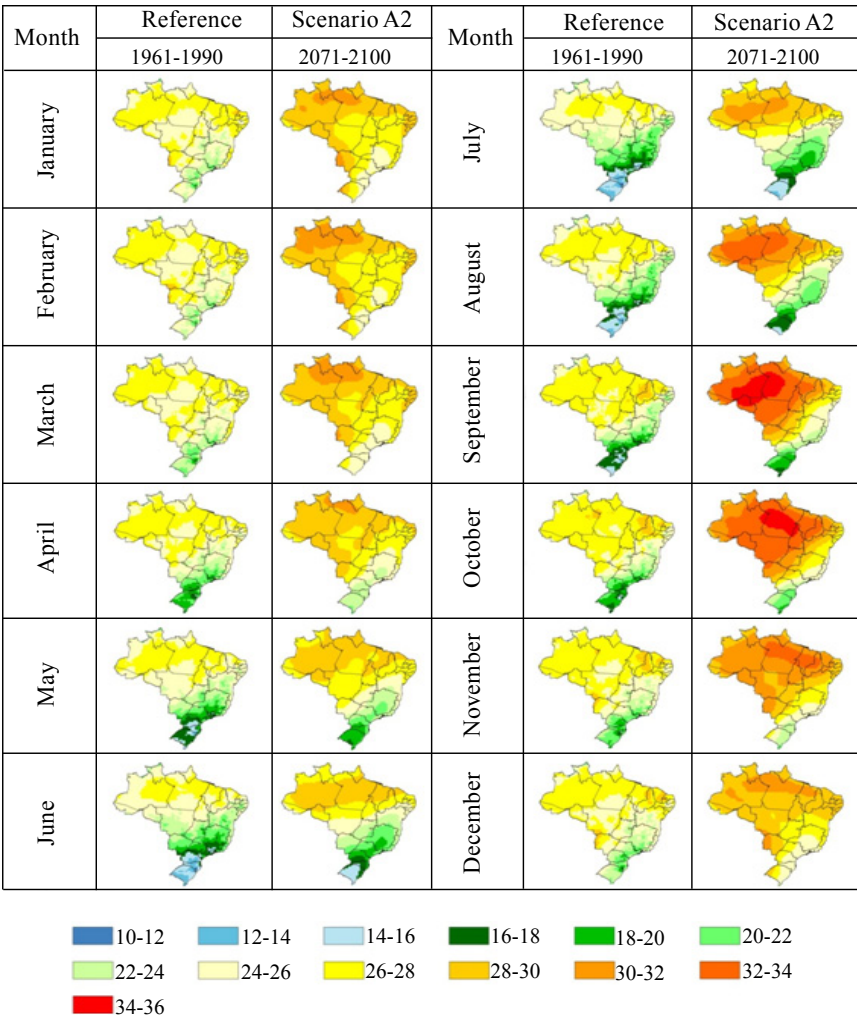


café, cítricos caucho y eucalipto; y también los impactos sobre los nematodos y los agentes de control biológico y químico.

Recientemente, un libro fue editado por Ghini *et al.* (2011b), utilizando un procedimiento similar pero actualizando los futuros mapas climáticos de Brasil, tal como se presenta en la Figura 4, usando las proyecciones GCM basadas en el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del IPCC (2007), y evaluando cualitativamente los posibles impactos del cambio climático en las epidemias de enfermedades de las plantas, las enfermedades bacterianas de piña, acacia, lechuga, brassica, castañas de cajú, cebolla, coco, eucalipto, fruta de hueso, papaya, yuca, mango, fresa, pino, sorgo y uva.

diseases, pineapple, acacia, lettuce, brassica, cashew, onion, coconut, eucalyptus, stone fruit, papaya, cassava, mango, strawberry, pine, sorghum, and grape.

Ghini *et al.* (2011c) simulated future scenarios of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) epidemics in Brazil by using a model that estimates the pathogen incubation period and the output from three GCM (CSIRO-Mk3.0, INM-CM3.0, and MIROC3.2.medres) from the Fourth Assessment Report (AR4) of IPCC (2007). The climatological normal of 1961-1990 was compared with that of the periods of 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100, using scenarios A2 and B1 of greenhouse gases emission. The climate variables used were maximum and minimum monthly temperatures.



**Figura 4. Temperatura media del aire en la superficie (°C) entre enero y diciembre teniendo en cuenta el clima de referencia (1961-1990) y el clima futuro proyectado (2071-2100), el escenario A2, del IE4 del PICC (Hamada *et al.*, 2011).**  
**Figure 4. Surface air mean temperature (°C) from January to December considering the reference climate (1961-1990) and projected future climate (2071-2100), scenario A2, from AR4-IPCC (Hamada *et al.*, 2011).**

Ghini *et al.* (2011c) simularon escenarios futuros para las epidemias de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en Brasil mediante el uso de un modelo que estima el periodo de incubación de agentes patógenos y la salida de tres GCM (CSIRO-Mk3.0, el INM-CM3.0 y MIROC3.2. medres) del Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del IPCC (2007). La norma climatológica de 1961-1990 fue comparada con los periodos de 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, con los escenarios A2 y B1 de la emisión de gases de efecto invernadero. Las variables climáticas que se utilizaron fueron las temperaturas mensuales máximas y mínimas.

## CONCLUSIONES

Los mapas obtenidos en el escenario A2, mostraron una tendencia hacia la reducción en el periodo de incubación en futuros escenarios en comparación al periodo 1961-1990 y, una reducción en el periodo también se observó en el escenario B1, aunque menor que en el escenario A2.

## LITERATURA CITADA

- Braga, M. R.; Aidar, M. P. M.; Marabesi, M. A. and Godoy, J. R. L. 2006. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on the phytoalexin production of two soybean cultivars differing in the resistance to stem canker disease. *Environ. Exp. Bot.* 58:85-92.
- Chakraborty, S. and Newton, A. C. 2011. Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathol.* 60:2-14.
- Costa, L. B. 2011. Efeito da radiação ultravioleta-B sobre *Trichoderma* spp. e *Clonostachys rosea*, agentes de biocontrol de fitopatógenos. M. Sc. Thesis. Lavras/ MG, UFLA.
- Ghini, R.; Bettiol, W. and Hamada, E. 2011a. Diseases in tropical plantation crops as affected by climate change: current knowledge and perspectives. *Plant Pathol.* 60:122-132.
- Ghini, R. and Hamada, E. 2008. Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília. Embrapa Informação Tecnológica. 331p.
- Ghini, R.; Hamada, E. and Bettiol, W. 2011b. Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. 356 p.

## CONCLUSION

The maps obtained in scenario A2 showed a tendency towards a reduction in the incubation period when future scenarios are compared to 1961-1990 and a reduction in the period was also observed in scenario B1, although smaller than that in scenario A2.

## ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to acknowledge the research grant from The National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), Brazil.

*End of the English version*



- Ghini, R.; Hamada, E.; Gonçalves, R. R. V.; Gasparotto, L. and Pereira, J. C. R. 2007. Análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a sigatoka-negra da bananeira no Brasil. *Fitopatologia Brasileira.* 32:197-204.
- Ghini, R.; Hamada, E.; Pedro Júnior, M. J. and Gonçalves, R. R. V. 2011c. Incubation period of *Hemileia vastatrix* in coffee plants in Brazil simulated under climate change. *Summa Phytopathologica.* 38:85-93.
- Ghini, R.; Hamada, E.; Pedro Júnior, M. J.; Marengo, J. A. and Gonçalves, R. R. V. 2008. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira.* 43:187-194.
- Gória, M. M. 2009. Impacto do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> do ar sobre a brusone do arroz. M. Sc. Thesis. Botucatu, SP: UNESP.
- Hamada, E.; Ghini, R. and Gonçalves, R. R. V. 2006. Efeito da mudança climática sobre problemas fitossanitários de plantas: metodologia de elaboração de mapas. *Engenharia Ambiental.* 3:73-85.
- Hamada, E.; Ghini, R.; Marengo, J. A. and Thomaz, M. C. 2011. Projeções de mudanças climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: Ghini, R.; Hamada, E. and Bettiol, W. (eds.) Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. 41-74 p.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Climate change 2001: the scientific basis. IPCC WGI, TAR. New York: Cambridge University Press. 881 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate change 2007: the physical science basis-Summary for policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva. 996 p.
- Jesus Júnior, W. C.; Valadares Júnior, R.; Cecílio, R. A.; Moraes, W. B.; Vale, F. X. R.; Alves, F. R. and Paul, P. A. 2008. Worldwide geographical distribution of black sigatoka for banana: predictions based on climate change models. *Scientia Agricola*. 65:40-53.
- Lessin, R. C. and Ghini, R. 2009. Efeito do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico sobre o oídio e o crescimento de plantas de soja. *Trop. Plant Pathol.* 34:385-392.
- Lessin, R. C. and Ghini, R. 2011. Impacto do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico sobre a ferrugem asiática e o desenvolvimento de plantas de soja. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente. Boletim de pesquisa. Núm. 57. 19 p.
- Li, F. R.; Peng, S. L.; Chen, B. M. and Hou, Y. P. 2010. A meta-analysis of the responses of woody and herbaceous plants to elevated ultraviolet-B radiation. *Acta oecologica-international. J. Ecol.* 36:1-9.
- Lüthi, D.; Floch, M. L.; Bereiter, B.; Blunier, T.; Barnola, J. M.; Siegenthaler, U.; Raynaud, D.; Jouzel, J.; Fischer, H.; Kawamura, K. and Stocker, T. F. 2008. High-resolution carbon dioxide concentration record 650 000-800 000 years before present. *Nature*. 453:379-382.
- Saber, M. L. 2011. Efeito da radiação ultravioleta B sobre a comunidade bacteriana epifítica de soja (*Glycine max* L. Merrill). M. Sc. Thesis. Piracicaba, SP: ESALQ/USP.
- Santos, M. S. 2011. Efeito do aumento da concentração de dióxido de carbono do ar sobre a murcha de *Ceratocystis* em mudas clonais de eucalipto. M. Sc. Thesis. Botucatu, SP: UNESP.
- Shaw, M. W. and Osborne, T. M. 2011. Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. *Plant Pathol.* 60:31-43.