

Escenarios bioclimáticos para el tizón tardío [*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary] y tizón temprano (*Alternaria solani* Sorauer.) de la papa en Cuba**A. A. Hernández–Mansilla^{1/*}, R. Sorí–Gómez², D. González–Alfonso³, A. López–Mayea⁴**

Recibido: 28/12/2016

Aceptado: 24/04/2017

Accesible en línea: Junio 2017

Resumen

Las alteraciones del comportamiento de los organismos nocivos que afectan los cultivos agrícolas por impacto del cambio climático, ocupan un lugar importante para la ciencia actual asociadas con la seguridad alimentaria. Cultivos como la papa en países tropicales como Cuba, pueden presentar estos efectos y sufrir pérdidas sustanciales en rendimiento por causa de oomycetes y hongos fitopatógenos. El objetivo de la investigación fue interpretar los escenarios bioclimáticos del comportamiento de Tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary) y Tizón temprano (*Alternaria solani* Sorauer.) bajo condiciones del cambio climático para los años 2025 y 2030. La investigación se realizó en el Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila. Se utilizaron datos diarios de temperatura máxima y mínima, precipitación y humedad relativa media, generados por el Modelo Climático Regional “PRECIS CARIBE” con condiciones de frontera del modelo global ECHAM-4 y proyecciones futuras de escenarios A2 y B2. Se determinó la incidencia de condiciones meteorológicas que no favorecen el progreso de Tizón tardío, a diferencia de Tizón temprano durante la época del cultivo para los años 2025 y 2030. Aumentarán los riesgos epidemiológicos y posibles pérdidas en el rendimiento por *A. solani*, beneficiado además, por la susceptibilidad de las variedades cultivadas en el país al fitopatógeno. Situación que exige de cambios en el manejo fitosanitario, la selección de insumos y las atenciones agrotécnicas bajo un enfoque sostenible de agricultura climáticamente inteligente, que garanticen el control oportuno y efectivo de esta patología, los rendimientos productivos, la mitigación y adaptación al cambio climático.

Palabras clave adicionales: Calentamiento global, cambio climático; *Solanum tuberosum* L.; seguridad alimentaria, oomycetes y hongos fitopatógenos.

* Dirección de contacto. Correo electrónico: ahmansilla@gmail.com, alexis.hernandez@cav.insmet.cu

¹ Centro Meteorológico Provincial Ciego de Ávila. Marcial Gómez, No.401, esquina Estrada. Ciego de Ávila. Cuba.

² Environmental Physics Laboratory (EPhysLab), Facultad de Ciencias de Ourense, Universidad de Vigo, Ourense, España. CP: 32004.

³ Centro Meteorológico Provincial Ciego de Ávila. Marcial Gómez, No.401, esquina Estrada. Ciego de Ávila. Cuba.

⁴ Centro Meteorológico Provincial Ciego de Ávila. Marcial Gómez, No. 401, esquina Estrada. Ciego de Ávila. Cuba.

Bioclimatic scenarios for late blight [*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary] and early blight (*Alternaria solani* Sorauer.) of the potato in Cuba

Summary

The changes in the behavior of harmful organisms that affect agricultural crops due to the impact of climate change, occupy an important place within the problems of the current science associated with food security. Crops such as potatoes in tropical countries like Cuba can exhibit these effects and suffer substantial yield losses due to oomycetes and phytopathogenic fungi. The objective of the research was to interpret the behavior of Late Blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary) and Early Blight (*Alternaria solani* Sorauer.) in bioclimatic scenarios under climate change conditions for the years 2025 and 2030. The research was carried out at the Provincial Meteorological Center of Ciego de Avila. Daily data of maximum and minimum temperature, precipitation and relative humidity generated by the Regional Climate Model "PRECIS CARIBE" with boundary conditions of the ECHAM-4 global model and future projections of A2 and B2 scenarios were used. There was determined the incidence of meteorological conditions that do not favor the progress of Late Blight, unlike Early Blight during the growing season for the years 2025 and 2030. Epidemiological risks and possible losses in yield will be increased by *A. solani*, further benefited by the susceptibility of varieties cultivated in the country to this phytopathogen. The situation requires changes in phytosanitary management, the selection of inputs and agrotechnical attention under a sustainable approach to climate smart agriculture, which guarantee the timely and effective control of this pathology, yields, mitigation and adaptation to climate change.

Additional Key words: Global warming, climate change, *Solanum tuberosum* L., food safety, oomycetes and phytopathogenic fungi.

Introducción

El cambio climático es una amenaza que indiscutiblemente afecta la estabilidad de las producciones agrícolas y su productividad, la que en muchas zonas del mundo ya es escasa y son limitados los medios de enfrentamiento a situaciones adversas; con una tendencia al agravamiento, a niveles más bajos de rendimiento y una producción cada vez más errática como resultante del impacto del calentamiento global (Fisher *et al.*, 2002; Stern *et al.*, 2006; Cline, 2007; IPCC, 2007; Lipper *et al.*, 2010). La disminución del rendimiento de los cultivos afectará la producción y aumentarán los precios de los cultivos, afectando directamente al bienestar humano (Nelson *et al.*, 2009).

Es inminente reforzar la seguridad alimentaria (Beddington, 2011); preocupante tarea para la sociedad mundial que hereda una agricultura con hábitos y tecnologías de la revolución verde, que no ofrece todas las garantías alimenticias pero que refuerza el calentamiento troposférico; de consecuencias directas en el cambio climático. Esta situación impone transformar los enfoques hacia una agricultura climáticamente inteligente.

La papa, es un cultivo de importancia económica internacional, constituye alimento de grandes poblaciones en diferentes regiones del planeta, y se distribuye en más de 140 países donde habitan las dos terceras partes de la población mundial; el incremento de sus niveles productivos lo convierten en el tercer cultivo alimenticio más importante,

después del trigo y el arroz (Álvarez *et al.*, 2013). Países tropicales como Cuba, a pesar de no contar con un amplio período de condiciones climáticas idóneas para su desarrollo aprovecha espacios temporales con temperaturas menos elevadas para su producción. Sin embargo, existe riesgo de afectación por la propia variabilidad climática y el cambio climático. Investigadores señalan que de no producirse la fertilización por CO₂ y de la sensibilidad climática considerada, los rendimientos agrícolas de este cultivo podría llegar a afectarse en un 40-45 % en este país, pues de producirse el efecto de la fertilización los impactos se modificarían drásticamente y los rendimientos seguirían disminuyendo (Gutiérrez & Centella, 2001).

Actualmente, la provincia Ciego de Ávila se considera dentro de los cinco territorios con prioridad para cultivar papa en Cuba, bien por su experiencia agrotécnica y rendimientos históricos, como por estrategia del país de sembrar variedades de alto rendimiento con mejor adaptación a sitios específicos. De esta forma, cada territorio puede explotar las de mejor comportamiento y cumplir en parte con las medidas de adaptación al cambio climático (Álvarez *et al.*, 2013).

De igual forma, es significativo considerar las pérdidas de alimentos por plagas y agentes patógenos en el terreno. Estas pueden alcanzar entre un 20 y 40 % de la cosecha potencial en países en desarrollo (Kader, 2005), consideración que según De Schutter (2010) es una de las causas que limitan la producción de alimentos en los sistemas agrícolas. Ello hace inminente valorar también, los posibles efectos de escenarios climáticos futuros en condiciones de cambio climático sobre organismos nocivos. Altieri y Nicholls (2008) plantean que la mayoría de los estudios concluyen que los

insectos y plagas serán generalmente más abundantes en la medida que la temperatura aumente, mientras Ghini *et al.* (2008) referencian que el efecto del cambio climático sobre las enfermedades que afectan las plantas puede ser positivo, negativo o neutral, en dependencia de cada región o período.

Son varias las enfermedades que inciden y que pueden causar severas pérdidas en este cultivo; entre ellas el Tizón tardío [*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary] y Tizón temprano (*Alternaria solani* Sorauer), patologías que se reconocen a escala mundial por los daños que causan en zonas donde se produce la papa (Erwin y Ribeiro, 1996; van der Waals, 2003 a; van der Waals *et al.*, 2013). En Cuba, son valoradas entre las más comunes e importantes por la nocividad tan devastadora en corto plazo, capaz de destruir el cultivo de no contar con un eficiente manejo fitosanitario. Similares observaciones fueron realizadas por Saucedo *et al.* (2010) al referir la importancia de estas patologías. Por tanto, tener en cuenta los efectos del cambio climático y la importancia de estos fitopatógenos, sustentan la necesidad de realizar investigaciones que permitan analizar el comportamiento de agentes nocivos y poder establecer políticas de enfrentamiento. La implementación de enfoques de agricultura climáticamente inteligente sobre la base de un manejo de plagas que contemple medidas capaces de brindar un buen control de las mismas contribuiría a la resiliencia de este agroecosistema.

De acuerdo con van der Waals *et al.* (2013) es imprescindible comprender los efectos del cambio climático en huésped y patógeno con el fin de mejorar los efectos negativos y utilizar los beneficios. Para ello resulta indispensable la búsqueda de una relación entre las

condiciones meteorológicas y la aparición y el desarrollo epifitológico de estas enfermedades en condiciones de campo que permitan sustentar sistemas predictivos para alcanzar un manejo eficiente (Gómez y Rodríguez, 1989; Gómez *et al.*, 1999 a y b; Saucedo *et al.*, 2010). Por ello, el objetivo de la presente investigación fue interpretar el comportamiento de Tizón tardío (*P. infestans*) y Tizón temprano (*A. solani*) a través de escenarios bioclimáticos en condiciones del cambio climático para los años 2025 y 2030. Como sostén de políticas de adaptación al cambio climático con aportes para la planificación futura de la producción papera tanto para Ciego de Ávila como para otros territorios del país donde existan similitud en las condiciones edafoclimáticas.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, como parte de las tareas del Proyecto Nacional: “*Cambio climático. Elaboración de escenarios para el desarrollo fenológico, situación fitosanitaria de cultivos agrícolas y zonas de interés medio ambiental en Ciego de Ávila. Medidas de mitigación y adaptación*”, perteneciente al Programa Nacional de Ciencia y Tecnología: “*Cambio Climático en Cuba: Impacto, mitigación y adaptación*”; que dirige la Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.

Para la elaboración de escenarios bioclimáticos se confeccionaron fenoclimatogramas que representan valores diarios de: temperatura mínima (T mín) y máxima (T máx); humedad relativa mínima (Hr mín) y media (Hr med) y precipitación (Pre) del período de

noviembre a abril para los años 2025 y 2030. Además de los parámetros climáticos que requieren para la aparición y desarrollo de las enfermedades: Tizón tardío (*P. infestans*) y Tizón temprano (*A. solani*), se tuvo en cuenta las exigencias y modelos biológicos de los organismos analizados.

La construcción de escenarios bioclimáticos se decidió para los años 2025 y 2030. Para ello se valoró la ventaja de la obtención de resultados para períodos de tiempo futuro con posibilidad de ser utilizados en la planificación de la explotación del cultivo aportando un carácter práctico y utilitario. Con ello, sería permisible incluir con inmediatez medidas a adoptar en las políticas de adaptación al cambio climático en Ciego de Ávila donde las áreas de este tubérculo son significativas.

Los datos de las variables climáticas empleadas constituyen salidas del Modelo Climático Regional PRECIS – CARIBE, (PRECIS CARIBE, 2010; Taylor *et al.*, 2013) en condicionantes de emisiones A2 y B2 y pertenecen a las coordenadas de 22°N y 78.5°W, correspondientes a un área importante de cultivo en el municipio Baraguá, donde están ubicadas la Empresa Cultivos Varios “*La Cuba*” y Cooperativas de Producción Agropecuaria decisivas en la producción de este tubérculo. A fin de verificar la calidad de los datos se comprobó su estacionalidad, según criterios Lecha *et al.* (1994) y valores extremos (alejados de la media +/- la distribución estándar). En el caso de la precipitación modelada, por resultar una variable altamente alejada de registros reales durante el periodo base disponible: 1992 – 2009, en la estación pluviométrica “*La Cuba*” ubicada a escasos kilómetros de las coordenadas de salida del modelo (Figura 1); se obtuvo un coeficiente de corrección bimestral

teniendo en cuenta las diferencias medias entre las predicciones y valores

registrados, posteriormente aplicado en los años de interés.

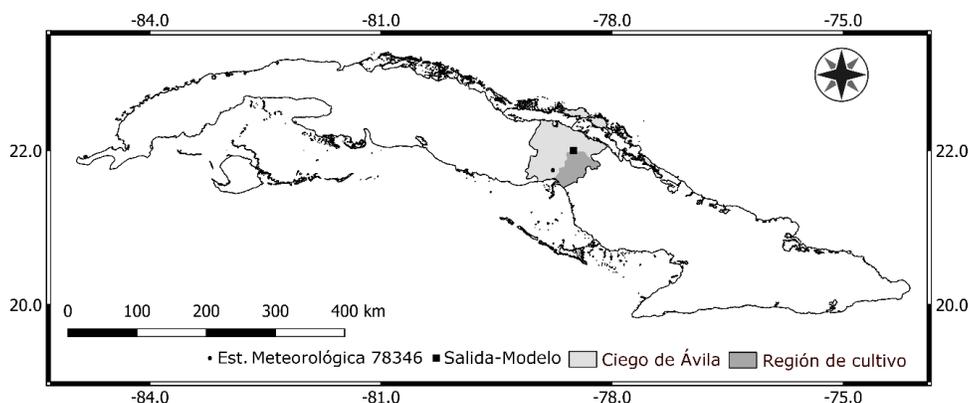


Figura 1. Región de estudio.

Para los análisis se consideraron las condicionantes a que se somete este cultivo por las entidades, teniendo en cuenta: época de cultivo durante meses del período poco lluvioso (noviembre-abril), suelos ferralítico rojos de categorías agroproductivas I y II, atenciones agrotécnicas y especificaciones respecto al riego que responden a sistemas aspersión con máquinas de pivote central con normas (150-250 m³/ha) y régimen no menor de 18 riegos por campaña para este tipo de suelo (con buen drenaje interno y externo). El régimen de riego resulta importante en el desarrollo fenológico de acuerdo a la influencia que ejerce la humedad tanto en relación con la planta como para el desarrollo de las enfermedades en estudio. Las anteriores consideraciones y las etapas fenológicas que se referencian en los escenarios bioclimáticos, responden al Instructivo Técnico para la producción de papa en Cuba (MINAG, 2016).

Para establecer una referencia climática en la zona de siembra se calculó la climatología mensual de la temperatura mínima y máxima a partir de datos diarios

registrados entre 1970 y 1990 en la estación meteorológica 78346, ubicada en el municipio de Venezuela en el centro-sur de la provincia. Debido a su cercanía con la región de estudio (Figura. 1) y teniendo en cuenta el débil gradiente espacial de la temperatura en la provincia, los registros de esta variable en la estación son representativos para la región de estudio.

Indicadores biológicos utilizados según patologías:

1. Tizón tardío (*P. infestans*).

Como índices limitantes para enmarcar los valores de las variables meteorológicas que favorecen la aparición y el desarrollo de este Oomycetes en Cuba y así determinar los momentos o periodos críticos (PC) dentro de los escenarios, se emplearon criterios de Gómez *et al.* (1999 a); Gómez *et al.* (2002); Gómez *et al.* (2003) y Gómez y Hernández (2003), que constituyen un modelo válido para el pronóstico del Tizón tardío. Los autores señalan que un PC para el desarrollo epifitiológico de *P. infestans* (aparición de brotes ligeros en zonas bajas y partes inferiores de las

plantas de papa) se produce bajo las siguientes condiciones meteorológicas: dos días consecutivos con presencia de Hr med. $\geq 84\%$, y Hr mín. $\geq 60\%$, $25^{\circ}\text{C} \leq T \text{ máx.} \leq 28^{\circ}\text{C}$ y $T \text{ mín.} > 11^{\circ}\text{C}$.

2. Tizón temprano (*A. solani*).

La selección de las variables meteorológicas, partió de los criterios de Gómez *et al.* (1999 b); Gómez *et al.* (1999 c), que señalan como períodos críticos (PC) para el desarrollo epifitológico de este fitopatógeno, aquellos en que: $T \text{ mín.} \geq 18^{\circ}\text{C}$, Hr med $\geq 84\%$, y/o Hr mín $\geq 60\%$, unido a Prec. $\geq 0,5$ mm durante dos días consecutivos en plantaciones con más de 30 días de germinadas.

Estos índices constituyen parámetros limitantes para la aparición y desarrollo de este hongo fitopatógeno, forman parte de un modelo de predicción validado y actualmente empleado en el manejo de la enfermedad dentro de la producción de papa en varios territorios del país.

Para ambos fitopatógenos, respecto a la humedad, se asumió la presencia de un óptimo en el suelo (ferralítico rojo) de forma permanente y de una influencia efectiva de la precipitación dadas las garantías del tipo, las normas y el régimen de riego que poseen las áreas de este cultivo en el territorio. Las normas previamente mencionadas responden al Instructivo Técnico para la producción de papa en Cuba (MINAG, 2016).

Resultados y discusión

Escenarios bioclimáticos de Tizón tardío (*P. infestans*) para 2025 y 2030.

Las Figuras 2 y 3 constituyen los escenarios bioclimáticos de Tizón tardío para los años 2025 y 2030 respectivamente. Ilustran las predicciones climáticas de interés además de las limitantes para el desarrollo de la

enfermedad en las áreas de cultivo de la papa de la E.C.V “*La Cuba*”.

Bajo un escenario de emisiones A2 para el año 2025 (Figura 2, A2) las predicciones de T máx y T mín se caracterizan por el descenso desde noviembre hasta enero para luego ascender hasta finales de marzo y comienzos de abril. La T mín oscila entre 15°C y 25°C la mayor parte del periodo y solo sobrepasa al umbral superior (28°C) en momentos aislados de los meses marzo y abril. Mientras, la T máx muestra el predominio de valores superiores a 30°C , los más elevados en también en estos mismos meses. Sin embargo, en enero la T máx disminuye hasta los 25°C , momento que coincide con descensos de T mín y Hr med; esta última con valores inferiores al 60% que hacen que aunque no sea excesivamente cálido, no exista la humedad requerida ($\geq 84\%$.) para la aparición de la enfermedad. En general las predicciones de T máx y T mín se alejan de la línea base respectiva de cada variable, destacándose el ascenso y mayor variabilidad en los valores de T mín para 2025 respecto a la línea base. El incremento de los valores de la T mín respecto a la LB mín es destacable, con valores cercanos a los 24°C en gran parte del periodo, lo que constituye un cambio considerable (ver, Figura 2). La T máx a pesar de superar los valores de la LB máx hacia marzo y abril, no experimenta las diferencias que experimenta la T mín. Al respecto la T mín de referencia mostró períodos favorecedores para la aparición y el desarrollo de esta enfermedad fundamentalmente en las etapas de crecimiento-tuberización e inicios de la maduración momentos donde esta variable alcanzó sus menores índices.

En el escenario bioclimático para 2025 bajo escenarios de emisión B2 (Figura 2, B2), la T mín muestra un comportamiento

similar al descrito en el A2; mayor variabilidad que la LB mín y predominio de valores entre 20 y 25°C con valores más bajos en diciembre y enero. La T máx es mayormente superior a los 28°C, con valores más elevados que superan aisladamente los 35°C (días aislados en febrero, marzo y abril) y resultan no favorables que impiden la formación de PC. En enero la T máx desciende hasta aproximadamente los 25°C, mientras T mín. desciende por debajo de los 20°C; coincidentes con porcentajes de Hr med inferiores al 60%, lo cual dificulta la manifestación de un PC.

Se hace evidente que las condiciones antes descritas para los escenarios bioclimáticos del 2025 no cumplen todos los requisitos expresados por Gómez *et al.* (1999 a); Gómez y Hernández (2003)

para la manifestación de PC. Cabe señalar que su manifestación depende de la combinación del conjunto de variables y no solo por la presencia de valores óptimos de algunas de forma aislada. Por tanto, se deduce que las posibilidades para que se propicie la aparición generalizada de Tizón tardío en las áreas de esta localidad son pocas; muy a pesar de la favorable influencia que puede ejercer el tipo y la norma de riego a que se someten estas plantaciones y que pueden poner en riesgo aquellas con edad superior a 30 días (fase de crecimiento-tuberización) susceptibles por disminución de la resistencia bioquímica (disminución de tenores de fitoalexinas) de mantener los actuales períodos de siembra en el país.

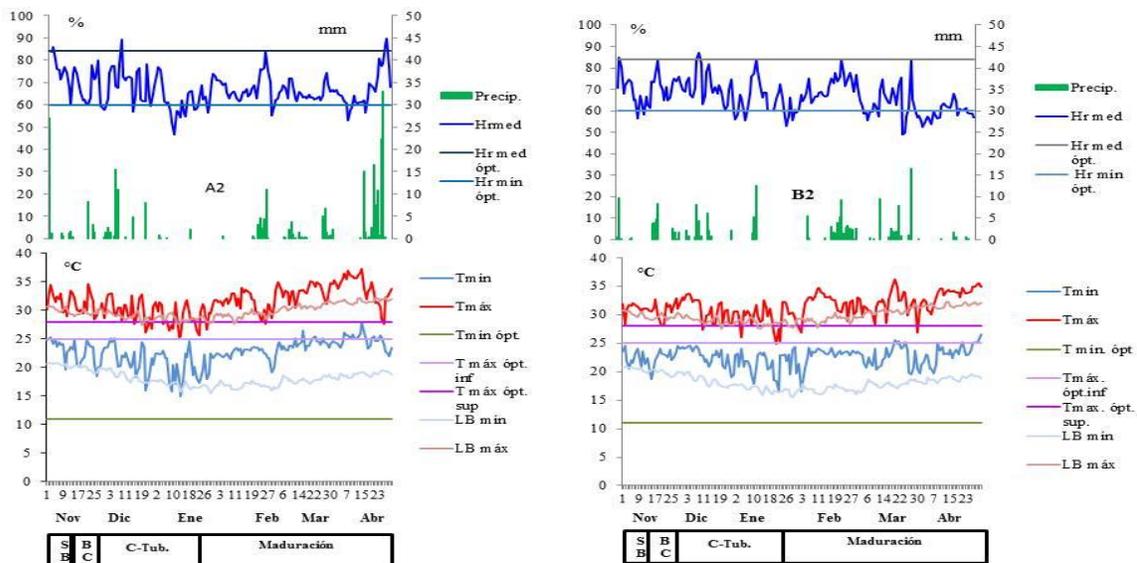


Figura 2. Condiciones Meteorológicas para la aparición y desarrollo de Tizón tardío (Escenarios bioclimáticos) bajo el escenarios de cambio climático A2 (izquierda) y B2 (derecha) en la E.C.V. “La Cuba”, Ciego de Ávila. Año 2025

En el escenario bioclimático para 2030 bajo condiciones A2 (Figura 3, A2), se observa en comparación con el año 2025 una mayor variabilidad de la temperatura, en los meses de enero, febrero y marzo. Específicamente durante enero y febrero la T máx desciende en ocasiones a valores inferiores de 28°C (LB máx) e incluso 25°C en aisladas ocasiones, umbral que identifica condiciones favorables para un PC. De otra parte, la T mín permanece cercana a los 25°C hasta fines de diciembre, momento en el que desciende y evoluciona con mayor variabilidad incluso con valores próximos a los 15°C con ascensos hasta los 25°C, aunque en días aislados de diciembre, enero, febrero, marzo y abril desciende a valores entre 15 y 20°C; que pueden favorecer desde el punto de vista térmico. No obstante, la coincidencia de estos días de temperaturas menos elevadas que propician condiciones favorables para la aparición y desarrollo de la enfermedad,

con un ambiente más seco (Hr med < 60 %) implican una limitación para la aparición de PC de la enfermedad, de acuerdo a Gómez *et al.* (1999 a) y Gómez y Hernández (2003).

La Hr med en el escenario A2, como puede observarse en la Figura 3, predomina con un porcentaje del 60% durante todo el período, aunque en días durante los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril esta desciende por debajo de la línea indicativa del 60%, lo cual no resulta favorable para el proceso biológico, a pesar de su coincidencia con descensos de la T máx y T mín en días de enero y febrero durante la fase de crecimiento–tuberización y maduración (Figura 3 izquierda). Aunque es importante considerar los aportes de humedad que se realizan con el riego, quizás estos espacios temporales sean los de mayor probabilidad para la aparición de esta enfermedad.

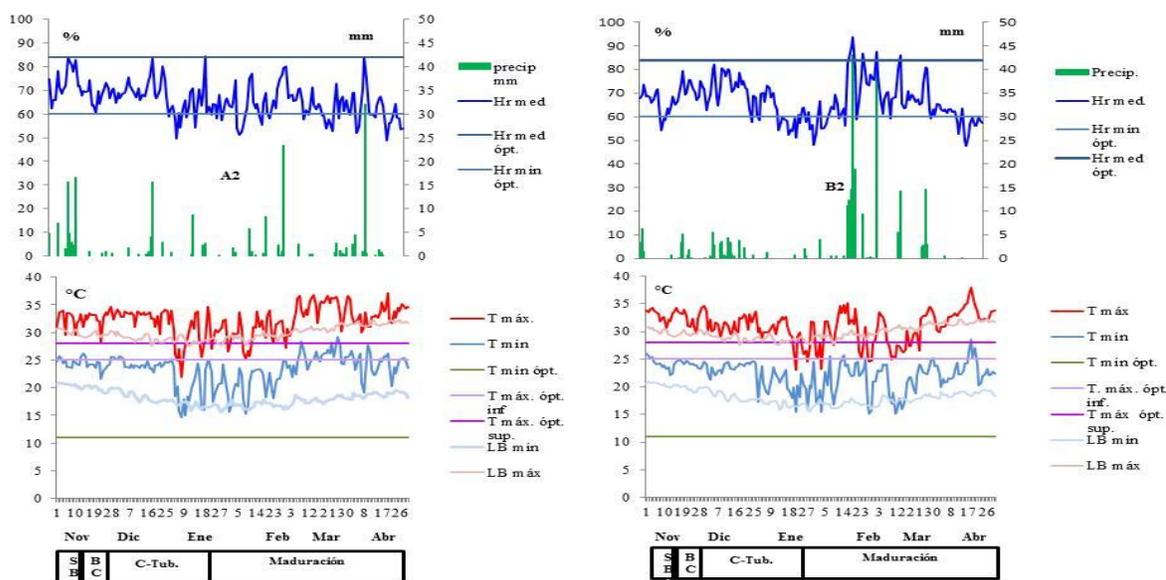


Figura 3. Condiciones Meteorológicas para la aparición y desarrollo de Tizón tardío (Escenarios bioclimáticos) bajo el escenarios de cambio climático A2 (izquierda) y B2 (derecha) en la E.C.V. “La Cuba”, Ciego de Ávila. Año 2030

El escenario B2 (Figura 3, derecha), presenta similitudes al A2, respecto al comportamiento de la temperatura. La T mín predomina inferior a los 25°C, solo aumenta por encima de este nivel en algunos días del mes de marzo y abril. La T máx oscila entre 30 y 35°C, con descensos por debajo de los 25°C en días correspondientes al mes enero y febrero, fase de maduración.

En cuanto a la Hr med (Figura 3, derecha), esta predomina entre los índices de 60 y 84 %, con valores inferiores al 60% en los meses de enero y febrero, que no aportan suficiente humedad, no favorables al proceso epifitiológico. Ambos escenarios A2 y B2 (Figura 3) no cumplen en su totalidad con los requisitos que en su conjunto exige *P. infestans* para su aparición y desarrollo en el agroecosistema papero, según los criterios de Gómez *et al.* (1999 a) y Gómez y Hernández (2003) para iniciar epidemias de este fitopatógeno. No obstante, cabe señalar que los momentos de mayor probabilidad son aquellos en que la T mín desciende y se aproxima a los 15°C, la T máx, se sitúa por debajo de los 25°C en días de los meses de enero, febrero y marzo en la etapa de maduración pero en los cuales la Hr med adquiere valores por debajo de 60 %.

Ante esta situación, se hace necesario comentar que las condiciones meteorológicas que exponen los anteriores escenarios A2 y B2 para los años 2025 y 2030 (Figuras 2 y 3) muestran diferencias entre el comportamiento histórico de referencia (línea base) y las predicciones del modelo PRECIS. En general las estimaciones futuras presentan un régimen térmico más elevado en comparación con el histórico, lo cual resta posibilidades de desarrollo para este fitopatógeno. En consenso, el ascenso en los valores modelados de T

mín y T máx implica un agroecosistema más cálido que no favorece a este Oomycetes.

Como se mencionó, este fitopatógeno requiere de forma conjunta temperaturas entre 11°C (Tmín) y 28°C (Tmáx) y humedad relativa entre 60 y 100%; durante dos o más días para condicionar de forma efectiva la aparición y el desarrollo de la enfermedad. No obstante, se debe considerar que en Cuba durante el período poco lluvioso inciden el paso de Frentes Fríos en ocasiones precedidos de bandas prefrontales que pueden ocasionar precipitaciones ligeras, lloviznas y neblinas que sumadas al régimen de riego elevan la humedad, lo cual contribuye favorablemente para una evolución más efectiva del Oomycetes, siempre que existan las condiciones de temperatura y humedad requeridas. De presentarse estos momentos se requeriría de monitoreos de campo que puedan precisar la presencia de la enfermedad en focos aislados, considerando siempre un ambiente térmico que no favorece el desarrollo del fitopatógeno de forma general durante la mayor parte del cultivo. Estos análisis imponen consultar y valorar otras referencias sobre biología y ecología de *P. infestans* que permiten disponer de otros criterios para comprender mejor la posible influencia del cambio climático según las exigencias biológicas que necesita este organismo. Según CABI (2016), señalan que la aparición de los síntomas de la enfermedad depende de la presencia de óptimas condiciones térmicas y del nivel de susceptibilidad de la planta, e informan que a una temperatura entre 18 y 22°C los síntomas pueden aparecer en un tiempo menor de tres días. Agregan también, que bajo valores moderados de esta variable (10-25°C) en presencia de un 100% de humedad relativa se puede desarrollar el

proceso de esporulación, con el requerimiento de un mínimo de 8 a 12 horas bajo estas condiciones para que ocurra la formación de los esporangios. Smart *et al.* (2000) y Alor (2015) plantean criterios muy similares a los anteriormente aludidos, enfatizan que las condiciones climáticas son determinantes para el desarrollo y progreso de la enfermedad; argumentan que en condiciones de temperatura de 18 y 20°C durante períodos entre 8 y 10 horas el fitopatógeno puede desarrollarse óptimamente así como formar esporangios. Estos autores manifiestan que a temperaturas inferiores de 12 a 16°C se estimula la producción de zoosporas en el interior de los esporangios. Otros documentos de Andrade *et al.* (2005) informan que niveles de humedad relativa mayor de un 95% son favorables para el desarrollo de este Oomycetes, así como los efectos de la aparición de lluvia, rocío o riego elevado.

Estudios realizados para conocer la influencia del cambio climático sobre el Tizón tardío mediante diferentes modelos de predicción realizados por Sparks *et al.* (2014) detectaron que el riesgo estimado de Tizón tardío declina por debajo de los niveles históricos porque no existirá suficiente Humedad relativa para mantener la infección a medida que aumentan las temperaturas. Específica que altas temperaturas pueden ser un factor limitante importante en un futuro para muchas enfermedades foliares como el Tizón tardío.

Estos análisis, permiten inferir que las condiciones meteorológicas bajo el efecto del cambio climático previstas en estos escenarios, no son del todo favorables para el desarrollo de este fitopatógeno, en ellos se observan una menor probabilidad para su aparición y desarrollo en las áreas

productivas de papa de Ciego de Ávila. Por lo cual se deduce que el Tizón tardío de la papa (*P. infestans*), tendrá menores condiciones para desencadenar epidemias y una menor repercusión económica en años futuros en el patosistema de papa de cumplirse las predicciones realizadas.

Los resultados descritos confirman impactos del calentamiento global sobre el Tizón tardío, con implicaciones de cambios en el manejo fitosanitario en la explotación del sistema papero en Ciego de Ávila y otras zonas del país donde se cultive la papa con similares condiciones edafoclimáticas.

Escenarios bioclimáticos de Tizón temprano (*A.solani*) para 2025 y 2030.

A continuación se presentan los escenarios bioclimáticos de Tizón temprano (*A. solani*), en las áreas de papa de la E.C.V “La Cuba” para los años 2025 y 2030 (Figuras 4 y 5). En la Figura 4 escenario A2, se observa un predominio de la T mín superior a los 18°C que resulta óptima para el desarrollo epifitológico de *A. solani*. a excepción de días aislados durante diciembre (fase de crecimiento-tuberización) y enero (fase de maduración) cuando esta variable desciende y oscila entre 15 y 18°C. De forma general el comportamiento de la T mín presenta diferencias respecto a los valores que alcanza en su línea base (obsérvese que desde mediados de diciembre hasta marzo no resulta favorable) se sitúa por debajo de 18°C, lo cual demuestra que el efecto del cambio climático favorece el desarrollo del fitopatógeno, de acuerdo a los criterios expresados por Gómez *et al.* (1999 b) y Gómez *et al.* (1999 c) de requerir una T mín superior a 18°C para que el hongo aparezca y se desarrolle en las áreas de papá.

La $T_{\text{máx}}$ pronosticada predomina entre 30 y 35°C, valores superiores a la $LB_{\text{máx}}$ pero coinciden en el ciclo estacional. A finales de diciembre y hasta mediados de enero desciende por debajo de 30°C y se aproxima a 27°C, rangos que aún favorecen el desarrollo de esta enfermedad. Por el contrario a finales de marzo y comienzos de abril sobrepasa los 35°C, momentos en los que puede afectar el proceso infeccioso de acuerdo a Rotem (1994) corroborados por van der Waals (2003 a).

Los porcentajes de Hr_{med} se predicen superiores al 60 %, con valores extremos cercano al 90% muy puntuales en los meses de diciembre, febrero y abril, índices favorecedores para desarrollar procesos biológicos de este hongo.

En el escenario B2 (Figura 4, derecha), se aprecia un comportamiento de la temperatura muy similar al pronosticado para este año bajo condicionantes A2 antes descrito. La $T_{\text{mín}}$ con valores inferiores a 18°C solo se presentará en escasos días, condiciones que favorecerán de forma predominante el desarrollo de la enfermedad en todo el período de cultivo. La $T_{\text{máx}}$ prevista oscila entre 30 y 35°C, a excepción de determinados momentos durante marzo y abril cuando excede los 35 °C. De igual forma es importante destacar la disminución de la amplitud térmica que se aprecia en la figura

durante los meses de diciembre a marzo implica un ambiente térmico favorable para el desarrollo del hongo.

La Hr_{med} en B2 (Figura 4 derecha), muestra igualmente que en A2, número elevado de valores superiores al 60%, mientras que en aisladas y puntuales ocasiones sobrepasa el 84% (indicados mediante flechas en la Figura); momentos en los que contribuye al establecimiento de un PC según criterios de Gómez *et al.* (1999 b).

En ambos escenarios (A2 y B2) para el año 2025 (Figura 4), no se registran valores elevados de precipitación durante el periodo de desarrollo del cultivo, sin embargo se puede observar en varias oportunidades satisface los requisitos ≥ 0.5 mm que requiere según Gómez *et al.* (1999 b) además de las garantías de humedad que brinda el riego por aspersión (máquinas de pivote central) que suministran un ambiente favorecedor.

En relación a la temperatura, los pronósticos tanto para un escenario A2 como B2 comparados con las líneas bases de los valores mínimos y máximos garantizan de forma generalizada que durante todo el período de cultivo se esperen condiciones térmicas más cálidas, apropiadas para la aparición y desarrollo de *A. solani* por efecto del calentamiento global.

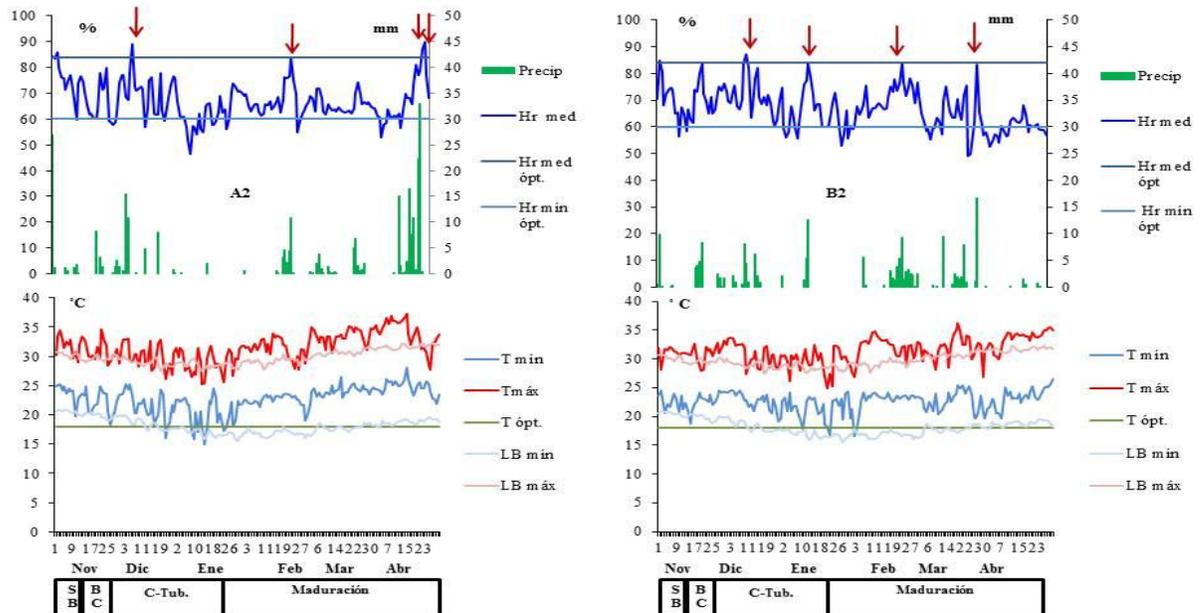


Figura 4. Condiciones Meteorológicas para la aparición y desarrollo de Tizón temprano (Escenarios bioclimáticos) bajo el escenarios de cambio climático A2 (izquierda) y B2 (derecha) en la E.C.V. “La Cuba”, Ciego de Ávila. Año 2025

Para el 2030 (Figura 4), se exponen comportamientos similares a los anteriores escenarios bioclimáticos del 2025. En el escenario A2 (Figura 5, izquierda), se observa que se acentúa más el estrechamiento de la amplitud térmica, obsérvese desde finales de diciembre a marzo. En el caso de la T mín solo se predicen valores inferiores a 18°C en pocos días durante diciembre-febrero, lo cual sugiere que esta variable incidirá positivamente en la aparición y el desarrollo de la enfermedad. La T máx mantendrá un comportamiento favorable entre diciembre y febrero (25-30°C) cuando la papa se encontrará en etapas fenológicas importantes de crecimiento-tuberización y maduración, susceptibles al ataque de este fitopatógeno. Valores de T máx superiores a 35°C (no favorables)

solo se presentarán en días de marzo y abril.

La Hr med se espera oscile entre el 60 y el 84% aunque a inicios y fin del periodo (diciembre-abril) se observa inferior al 60%, no obstante esta disminución puede ser compensada por las precipitaciones y el riego. (Figura 5, izquierda).

En cuanto al escenario B2 (Figura 5, derecha) tanto la T mín como la T máx incidirán de forma similar a las condiciones descritas para el escenario A2. Por tanto, igualmente se espera que sean favorables para la aparición de brotes de la enfermedad en gran parte del período del cultivo. Se aprecia una mayor acentuación en el estrechamiento de la amplitud térmica que muestra un desplazamiento hacia los meses de enero a marzo, que favorecen el progreso

epifitológico en este período. La T mín de forma general también propiciará el desarrollo del fitopatógeno, durante los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo los valores oscilan entre 20 y 25°C a excepción días puntuales en los que desciende por debajo de 18°C, que no permitirán el progreso de las epifitias. En cuanto a la T máx, los valores se comportarán entre 30 y 35°C para la generalidad del período del cultivo a excepción de días de enero, febrero y marzo en los que se sitúa entre 25 y 30°C, los índices más elevados solo se pronostican en pocos días de forma aislada de febrero y abril cuando superan los 36°C, que constituirán limitantes para la enfermedad de acuerdo a los planteamientos de Rotem (1994) y van der Waals (2003 a) ya comentados con anterioridad.

La Hr med muestra comportamiento similar al A2 destacando que en el caso de B2 los niveles son más elevados en sus porcentajes.

Es importante destacar que las condiciones meteorológicas que en su conjunto fueron analizadas para los escenarios bioclimáticos A2 y B2 en el año 2030 confirman la posibilidad de la manifestación de períodos críticos (Gómez *et al.*, 1999 b; Castellanos *et al.*, 2005); se pueden apreciar tres PC distribuidos en los meses de diciembre, enero y abril bajo la condiciones A2 y cuatro PC en B2 durante el mes de marzo, todos en etapas fenológicas de importancia crecimiento-tuberización y maduración.

De forma general referente a la línea base, las condiciones esperadas para el 2030 aportarán un ambiente térmico más favorable para el desarrollo de este fitopatógeno en las áreas de cultivo que ponen en evidencia el efecto positivo del

cambio climático para este organismo nocivo de importancia económica para el cultivo.

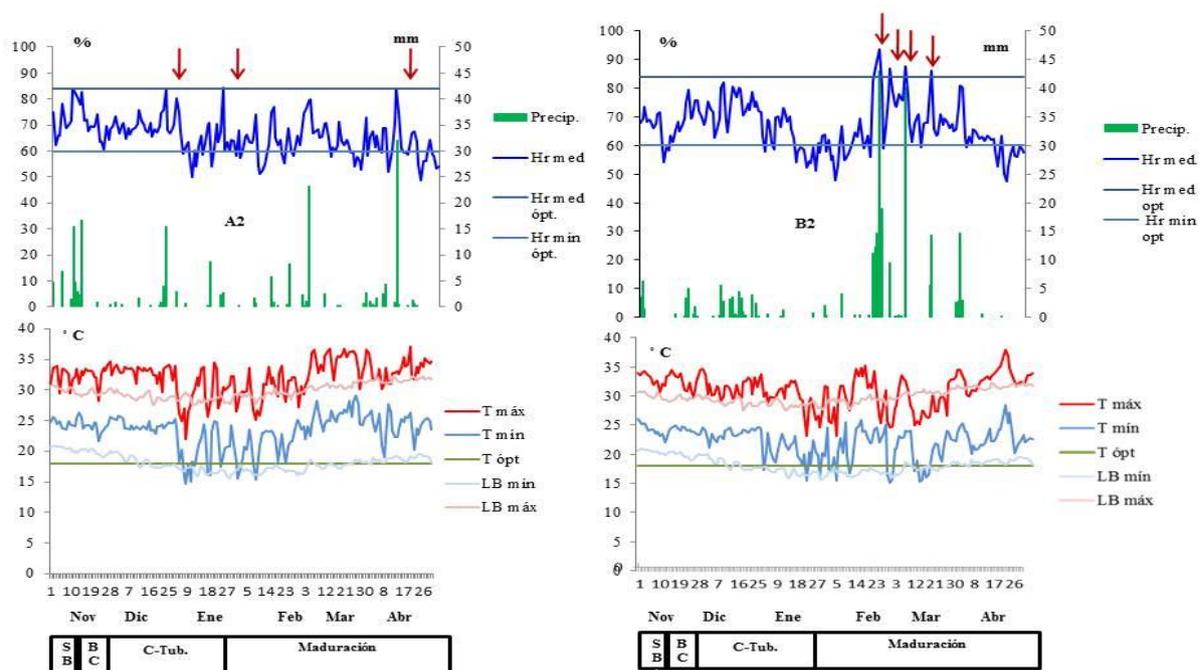


Figura 5. Condiciones Meteorológicas para la aparición y desarrollo de Tizón temprano (Escenarios bioclimáticos) bajo el escenarios de cambio climático A2 (izquierda) y B2 (derecha) en la E.C.V. “La Cuba”, Ciego de Ávila. Año 2030.

Trabajos de investigación realizados en este territorio comentan la relación de patrones sinópticos y condiciones meteorológicas en superficie con la aparición de Tizón temprano (Hernández *et al.*, 2008). En los mismos, se hace referencia a la aparición de la enfermedad en el campo solo precedida de PC en meses de diciembre, enero y febrero como consecuencia de la incidencia de vientos del este al sudeste que implicaron en superficie la ocurrencia de $T \text{ mín} \geq 18^{\circ}\text{C}$, $Hr \text{ mín} > 52\%$ y $Hr \text{ med} > 73\%$ (predominando valores superiores al 80%), lo cual indica una similitud con las condiciones que se predicen en los escenarios para este fitopatógeno.

Además de los razonamientos expuestos con anterioridad, resulta esclarecedor mencionar criterios expresados por otros autores en apoyo a las interpretaciones de los escenarios bioclimáticos aquí presentados. Waggoner & Parlage (1974), informaron que el proceso de germinación de los conidios requiere de 100% de

humedad relativa y una temperatura de 25°C durante un mínimo de dos horas. van der Waals (2005) señaló que para iniciar un proceso infeccioso en las plantas la temperatura debe oscilar entre 10 y 35°C con un óptimo entre 20 y 30°C : destacan además que el hongo esporula en un rango entre 5 y 30°C y un óptimo de 20°C . Reconoce también la necesidad de un 100 % de humedad como un elemento clave. Respecto a este factor, Stevenson y Pennypacker (1988) a partir de experimentos de laboratorio determinaron que los niveles de humedad deben superar el 92% para condicionar una buena germinación. Otros experimentos de campo refiere que este proceso en Cuba no ocurre con humedades por debajo del 88 % (Piña, 1979). Súmense los realizados van der Waals *et al.* (2003 b) para el control de la enfermedad en Sudáfrica, en los que se demostró que resultan especialmente favorables para el desarrollo de Tizón temprano la presencia de temperaturas diurnas en el rango de 20 - 28°C y con una frecuente humedad superior al 90%. Se

observó además, que el hongo aprovecha los períodos húmedos cortos (nocturnos) para continuar su desarrollo y se interrumpe por los secos durante el día, singularidad que permite la adaptación y desarrollarse bien en áreas con continua humedad y con alternancia de húmedos y secos.

Estas argumentaciones y las interpretaciones realizadas a los escenarios bioclimáticos de Tizón temprano permiten considerar que las condiciones meteorológicas futuras para los años 2025 y 2030 derivadas del cambio climático favorecerán el desarrollo de *A. solani* y altas probabilidades para establecer epifitias que afectarán el cultivo en el territorio de Ciego de Ávila, y otras zonas de Cuba con similitud en cuanto a condiciones meteorológicas.

Las interpretaciones realizadas en este trabajo sobre las manifestaciones epifitológicas de las patologías Tizón tardío y Tizón temprano dan evidencias que son el resultado de la interacción planta-patógeno-condiciones ambientales; por lo cual los efectos de cambio climático podrán o no beneficiar su desarrollo en este caso en dependencia de los niveles específicos de humedad y temperatura en que incidan en los agroecosistemas en correspondencia con la exigencias biológicas de estos fitopatógenos.

Estudios del posible efecto del cambio climático sobre enfermedades y plagas de papa en diferentes agroecosistemas en Sudáfrica informan que estas patologías presentarán disímiles respuestas epidemiológicas en el futuro, se observó que las tasa de desarrollo relativo acumulado eran diferentes en dependencia de los niveles de temperatura máxima, mínima y humedad relativa en que incidirán en las diferentes estaciones y localidades donde se cultiva la papa en ese país (van der Waals *et al.*, 2013).

Conclusiones

A consecuencia del cambio climático sobre la base de los futuros escenarios bioclimáticos de Tizón tardío y Tizón temprano para los años 2025 y 2030, se presentarán incrementos en la temperatura máxima y mínima unido a valores de humedad relativa permisibles para la manifestación de períodos críticos para la aparición y desarrollo de epifitias de Tizón temprano (*A. solani*). Sin embargo, no resulta así para Tizón tardío (*P. infestans*) de mayores exigencias a ambientes de moderadas temperaturas y alta humedad relativa. Situación que implicará cambios de posición de estos fitopatógenos en el patosistema papero desde el punto de vista epidemiológico y económico para años futuros en Ciego de Ávila.

Se hace necesario tomar en consideración que existirá un mayor riesgo a sufrir afectaciones por causa de Tizón temprano en el cultivo de la papa en Ciego de Ávila, que obligan a la adecuación y el establecimiento de un manejo fitosanitario que priorice su control, todo lo cual implica cambios en los expendios actuales de insumos y la planificación de los recursos dedicados al cultivo de la papa, que exigen de un enfoque de “*Agricultura Climáticamente Inteligente*” (CSA por sus siglas en inglés) capaz de garantizar la mitigación y adaptación al cambio climático sobre una producción agrícola sostenible que garantice la seguridad alimentaria.

Conflictos de intereses

Los autores han cumplido las normas éticas de publicación, y no generan conflicto de interés en la presente investigación.

Agradecimientos

Se agradece al Centro de Meteorología Agrícola y al Centro de Física de la Atmósfera del Instituto de Meteorología la facilitación y acceso a las salidas del Modelo Climático Regional PRECIS –

CARIBE. En especial a los investigadores Dr. Oscar Solano Ojeada y MSc. Ranses Vázquez por su cooperación.

Referencias citadas

Andrade, J. L.; Hijmans, R.J.; Forbes, G. A.; Fry, W.E.; Nelson, R.J. 2005. Simulation of potato late blight in the Andes. I: Modification and parameterization of the lateblight model. *Phytopathology*. 95(10): 1191-1199.

Alor, N. A. 2015. Caracterización de *Phytophthora infestans* y mejora genética para la resistencia en patata, Tesis de Doctor. Escola Técnica Superior d'Enginyeria Agrària. Neiker tenalia. Universitat de Lleida, Lleida, Catalunya, España. 165 p.

Altieri, M. A. y Nicholls, C.I. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología*. 3:7-24.

Álvarez, A.; Riverol, M.; González, F.; Soto, F.; Castillo, J.; Contreras, Y.; González, T.; Canet, R.; Villalón, A.; Andino, V.; Cuéllar, A.; Barbería, M. A.; Cruz, T.; Sosa, R.; Chao, R.; Abeledo, C.; Diéguez, F.; García, A.; Cruz, E.; Díaz, Y.; Rivero, R.; Roger, R. R.; Rodríguez, A.; Carrera, F. 2013. Agricultura. En: Planos, E.; Rivero, R.; Guevara, V (ed.). Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. Primera edición. Editorial AMA, La Habana, Cuba. 430p.

Beddington, J.; Asaduzzaman, M.; Fernandez, A.; Clark, M.; Guillou, M.; Jahn, M.; Erda, L.; Mamo, T.; Van Bo, N.; Nobre, C.A.; Scholes, R.; Sharma, R.; Wakhungu, J. 2011. Achieving food security in the face of climate change: Summary for policy makers from the Commission on Sustainable Agriculture and Climate Change. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture

[and Food Security \(CCAFS\). Copenhagen, Denmark.](#)

Centre for Agriculture and Biosciences International (CABI). 2016. Biology and Ecology. *Phytophthora infestans* (*Phytophthora* blight). Invasive Species Compendium. En: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/40970>. Consulta: Abril, 2017.

Castellanos, L.; Rivero, T.; Porras, A.; Pajón, J. 2005. Modelación Matemática de *Alternaria solani* Sor. en papa en función de las variables meteorológicas y la edad del cultivo. *Rev. FITOSANIDAD*. 9(1): 27- 32.

Cline, W. R. 2007. Global Warming and Agriculture. Impact Estimates by Country. Center for Global Development/Peterson Institute for International Economics. Washington D.C. EEUU. 96p.

De Schutter, O. 2010. Informe del Relator Especial sobre el derecho a la alimentación. En: Promoción y protección de todos los derechos humanos, civiles, políticos, económicos, sociales y culturales, incluido el derecho al desarrollo. Consejo de Derechos Humanos, Tema 3 de la agenda. Asamblea General de Naciones Unidas. 24pp.

Erwin, D. C. y Ribeiro, O. K. 1996. *Phytophthora Diseases Worldwide*. The American Phytopathological Society. Minnesota, EE.UU. 562 pp.

Fischer, G.; Shah, M.; van Velthuizen, H. 2002. Climate Change and Agricultural Vulnerability. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Vienna, Austria. 162pp.

Ghini, R.; Bettiol, W.; Hamada, E. 2008. Diseases in tropical plantation crops as affected by climate change: current knowledge and perspectives. *Plant Pathol*. 60:122-123.

Gómez, G.; Rodríguez, J. 1989. Pronóstico a corto plazo de *A. solani* en papa y tomate. Informe resultado de investigación. Instituto de Investigaciones de Sanidad

Vegetal (INISAV). La Habana. Cod. 519-09-02. 25p.

Gómez, G.; Rodríguez, J.; Castellanos, L.; González, M. L.; Figueroa, I.; Sarmientos, A.; Alujas, D.; Martín E.L. 1999 a). Naumova modificado: Ajuste de un método de pronóstico para el Tizón tardío de la papa y el tomate en Cuba. Rev. FITOSANIDAD. 3(3): 95-100.

Gómez, G.; Rodríguez, J.; Pedroso, A.; Sarmiento, A.; Castellanos, L.; González, M.; Álvarez, C.; Hernández, A.; Pico, V.M.; Figueroa, I. 1999 b). Modelo de Pronóstico de Tizón Temprano (*Alternaria solani* Sor.) en papa y tomate en Cuba. FITOSANIDAD. 3(3):89-94.

Gómez, G.; Pedroso, P.; Suárez, M.; Figueroa, I.; Castellanos, L.; Pico, V. M.; Hernández, A.; Secada, I.; González, M. 1999 c). Zonificación Bioclimática del Tizón Temprano (*Alternaria solani* Sor.) de la papa. Rev. FITOSANIDAD. 3(3): 31-36.

Gómez, G.; Suárez, M.; Figueroa, M.; Rivero, T.; Hernández, A. 2002. Pronóstico del Tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary de la papa en Cuba. II. Evaluación de la efectividad del modelo de Naumova Modificado. FITOSANIDAD.6: 35- 38.

Gómez, G.; Suárez, M.; Suárez, I.; Montero, J.; Arredondo, M. E.; Rivero, T.; Hernández, A.; Díaz, E.; Martínez, E. 2003. Pronóstico del Tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) de la papa en Cuba. IV. Estudio de los períodos favorables para el desarrollo de la enfermedad y su relación con el clima. FITOSANIDAD. 7(2):63-66.

Gómez, G.; Hernández, K. 2003. Forecasting Models for Potato Late Blight Management in Cuba. En: Global Initiative on Late Blight (GILB) Newsletter. (19):1-3.

Gutiérrez, T.; Centella, A. 2001. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. En: Centella, A.; Llanes, J.; Paz,

L. (eds). Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Instituto de Meteorología (INSMET). La Habana, Cuba. 169p.

Hernández, A. A.; Córdova, O.; López, A. 2008. Condiciones meteorológicas asociadas a la aparición de Tizón temprano (*Alternaria solani* Sor.) en el cultivo de la papa en Ciego de Ávila. Programa y Resúmenes del X Congreso Mundial Trichoderma y Gliocladium; VII Congreso Nacional de Fitopatología y II Congreso Nacional de Fitoprotección. San José de Costa Rica. Costa Rica. 85p.

Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. En: Parry, M.L.; O.F. Canziani, J.P.; Palutikof, P.J.; van der Linden.; Hanson, C.E. (Eds.), Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 976pp.

Kader, A. A. 2005. Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. Acta Horticult. 682: 2169–2175.

Lecha, L.; Paz, L.; Lapinel, B. 1994. El clima de Cuba. Primera edición. Editorial Academia; La Habana, Cuba. 186p.

Lipper, L.; Mann, W.; Meybeck, A.; Sessa, R. 2010. Agricultura “climáticamente inteligente” Políticas, prácticas y financiación para la seguridad alimentaria, adaptación y mitigación. Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 54 p.

Ministerio de la Agricultura (MINAG). 2016. Instructivo Técnico para la producción de papa en Cuba. Dirección de Agricultura. Editorial Ministerio de Agricultura, La Habana, Cuba. 62p.

Nelson, G. C., Rosegrant, M.W.; Koo, J.; Robertson, R.; Sulser, T.; Zhu, T.; Ringler,

- C.; Msangi, S.; Palazzo, A.; Batka, M.; Magalhaes, M.; Valmonte-Santos, R.; Ewing, M.; Lee, D. 2009. Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation. Food Policy Report 21. International Food Policy Research Institute (IFPRI). Washington, D.C. EEUU. 30p.
- Piña, A. 1979. Estudio bioecológico y control de *A. solani* en papa. Informe de investigación. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV). La Habana, Cuba. 17p.
- PRECIS CARIBE. Proyectando el Cambio Climático en el Caribe con el Modelo Climático HADRMCM. Instituto de Meteorología. República de Cuba. En: <http://precis.insmet.cu/html/Precis-Caribe.html>. Consulta: Noviembre, 2016.
- Rotem, J. 1994. The genus *Alternaria*, biology, epidemiology and pathogenicity. APS Press. American Phytopathological Society. Universidad de Michigan, USA. 325 pp.
- Saucedo, O.; Pérez, L.; Herrera, L.; Fernández, L. 2010. Sistema de pronóstico climático del Tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en el cultivo de la papa en la provincia de Villa Clara. Revista electrónica de Veterinaria (REDVET). 11(03B):1695-7504.
- Smart, C. D., Sandrock, R. W., Fry, W. 2000. Molecular Techniques and Mystery of the Potato Late Blight Pathogen. Plant-Microbe Interactions. Edited by Tacey, G. and Keen, N. (American Phytopathology Society). APS. 336 p.
- Sparks, A.H.; Forbes, G.A.; Hijmans, R.J.; Garrett, K.A. 2014. Climate change may have limited effect on global risk of potato late blight. *Glob Change Biol.* 20: 3621–3631.
- Stern, N.; Peters, S.; Bakhshi, V.; Bowen, A.; Cameron, C.; Catovsky, S.; Crane, D.; Cruickshank, S.; Dietz, S.; Edmonson, N.; Garbett, S.L.; Hamid, L.; Hoffman, G.; Ingram, D.; Jones, B.; Patmore, N.; Radcliffe, H.; Sathiyarajah, R.; Stock, M.; Taylor, C.; Vernon, T.; Wanjie, H.; Zenghelis, D. 2006. Stern Review: The Economics of Climate Change, HM Treasury, London, UK.
- Stevenson, R.E. y Pennypacker, S. P. 1988. Effect of Radiation, Temperatura and Moisture in Conidial Germination of *A. solani*. *Phytopathology*. 78 (7): 926-930.
- Taylor, M.A.; Centella, A.; Charlery, J.; Bezanilla, A.; Campbell, J.; Borrajero, I.; Stephenson T, Nurmohamed, R. 2013. The précis Caribbean Story: Lessons and Legacies. *Bul. Am Meteorol. Soc.*; 94(7): 1065-1073.
- van der Waals, J. E.; Korsten, L.; Aveling, T.A. S.; and Denner, D. N. (2003a). Influence of environmental factors on field concentrations of *Alternaria solani* conidia above a South African potato crop. *Phytoparasitica*. 31: 353-364.
- van der Waals, J.E.; Denner, D.N.; van Rij, N.; Korsten, L. 2003b). Evaluation of PLANT-Plus, a decision support system for control of early blight on potatoes in South Africa. *Crop Protection*. 22(6): 821-828.
- van der Waals, J.E.; Korsten, L.; Denner, D.N. 2005. Early blight in South Africa: Knowledge, attitudes and control practices of potato growers. *Potato Research*. 46:27-37.
- van der Waals, J.E.; Krüger, K.; Franke, A. C.; Haverkort, A. J.; Steyn, J. M. 2013. Climate Change and Potato Production in Contrasting South African Agro-Ecosystems 3. Effects on Relative Development Rates of Selected Pathogens and Pests. *Potato Research*. 56:67-84.
- Waggoner, P.; Parlage, J.Y. 1974. Mathematical Model for Spore Germination at changing Temperature. *Phytopathology*. 64 (1):325-329.