

RELACIÓN ENTRE LA INCIDENCIA DE LA PIRICULARIOSIS (*Pyricularia grisea* Sacc.) DEL ARROZ (*Oryza sativa* Lin.) Y DIFERENTES VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL COMPLEJO AGROINDUSTRIAL ARROCERO LOS PALACIOS

Regla M. Cárdenas[✉], Sarah Mesa, R. Polón, Noraida Pérez, Elizabeth Cristo, Leonila Fabré y J. J. Hernández

ABSTRACT. The study was carried out from 2000 to 2006, in the areas of 'Los Palacios' Rice Agroindustrial Complex (CAI), Pinar del Río, with the objective of studying the monthly behavior of leaf blast (*Pyricularia grisea* Sacc.) occurrence, which is the most important rice disease worldwide and its relationship with temperatures: maximum (Tmax), minimum (Tmin) and mid (Tmid), relative humidity (Hr) and rainy days (Dcll). Thus, data were subjected to variance analysis, tendency and correlation; besides, a study of temporary series was made by using the additive seasonal decomposition method. Results showed that monthly disease occurrence was not correlated with Hr but with Tmax, Tmin and Tmid, as well as Dcll. Meanwhile Hr kept a slightly growing tendency of its mid monthly values, Tmax, Tmin, Tmid and Dcll as well as *P. grisea* occurrence had an increasing-decreasing tendency, which constitutes a year-on-year variability example of these variables. The resulting seasonal decomposition indexes enabled a better understanding of the studied variable behaviour patterns that make this variability evident, besides keeping with the tendencies and variations observed in the current climate of Cuba.

Key words: rice, *Oryza sativa*, *Pyricularia grisea*, plant disease, climatic change

RESUMEN. El estudio se realizó desde el 2000 al 2006, en las áreas del Complejo Agroindustrial (CAI) Arrocero Los Palacios, Pinar del Río, con el objetivo de estudiar el comportamiento mensual de la incidencia de la Piriculariosis (*Pyricularia grisea* Sacc.), enfermedad más importante del cultivo del arroz a escala mundial y su relación con las temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) y media (Tmed), la humedad relativa (Hr) y los días con lluvia (Dcll). Para ello, los datos se sometieron a análisis de varianza, tendencia y correlación; además, se efectuó un estudio de las series temporales utilizando el método de la descomposición estacional aditiva. Los resultados mostraron que la incidencia mensual de la enfermedad no se correlacionó con Hr pero sí con las Tmax, Tmin y Tmed, así como con Dcll. Mientras la Hr mantuvo una tendencia anual ligeramente creciente de sus valores medio mensuales, la incidencia de *P. grisea* y las variables del clima Tmax, Tmin, Tmed y Dcll presentaron una tendencia creciente-decreciente, lo que constituye un ejemplo de la variabilidad interanual de ellas. Los índices resultantes de la descomposición estacional permitieron una mejor comprensión de los patrones de comportamiento de las variables estudiadas que evidencian esta variabilidad y que se corresponden con las tendencias y variaciones observadas en el clima actual de Cuba.

Palabras clave: arroz, *Oryza sativa*, *Pyricularia grisea*, enfermedades de las plantas, cambio climático

INTRODUCCIÓN

El arroz es el segundo cereal en producción del mundo después del trigo (1), pero tiene mayor importancia por la superficie cultivada y cantidad de población que depende de su cosecha para su alimentación (2).

En Cuba constituye el alimento básico en la dieta de la población, con un consumo per cápita de 60 kg anuales (3). Parte de su producción se obtiene en el CAI Arrocero

Los Palacios, uno de los tres de mayor importancia en la nación, que se localiza en la llanura sur de la provincia Pinar del Río, en la región occidental de la isla, justo en la zona de trayectoria de varios de ciclones tropicales, cuya intensidad y frecuencia probablemente se han incrementado asociadas al cambio climático.

La comunidad científica internacional presta atención a los impactos del cambio climático, que serán más sensibles en las zonas tropicales, donde hoy se concentran la gran mayoría de los países en vías de desarrollo (4), con gran repercusión en la agricultura (5, 6) y un posible incremento de los riesgos de brotes de enfermedades, que tendrán consecuencias considerables en la producción alimentaria (7).

Por su condición insular, Cuba figura entre los países más vulnerables al cambio climático y, por este motivo, en los últimos años se han realizado investigaciones con la finalidad de estudiar sus impactos en diferentes sectores (5, 8, 9, 10).

Ms.C. Regla M. Cárdenas, Investigadora Auxiliar del departamento de Genética y Mejoramiento Vegetal; Dr.C. R. Polón y Noraida Pérez, Investigadores Auxiliares y Ms.C. Elizabeth Cristo, Investigadora Agregada de la Estación Experimental del Arroz Los Palacios, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana; Sarah Mesa del Centro Meteorológico Provincial, CITMA Pinar del Río; Leonila Fabré y J. J. Hernández del Complejo Agroindustrial (CAI) Arrocero Los Palacios, Pinar del Río, Cuba.

✉ rmaria@inca.edu.cu

Desde el punto de vista epidemiológico, la mayoría de los estudios agroclimáticos en Pinar del Río hacen referencia al moho azul (*Pernospora tabacina*) en el cultivo del tabaco, que constituye el principal rubro exportable del territorio (11), pero resulta insuficiente la literatura que aborda este tipo de estudios con respecto a la Piriculariosis (*Pyricularia grisea* Sacc.), la principal enfermedad del cultivo del arroz a escala mundial, que constituye un problema patológico en las áreas arroceras de esta provincia.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, se realizó el presente trabajo en las áreas del CAI Arrocerero Los Palacios, con el objetivo de analizar el comportamiento mensual de la incidencia de la Piriculariosis y su relación con las temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) y media (Tmed), así como la humedad relativa (Hr) y los días con lluvia (Dcll).

MATERIALES Y MÉTODOS

La información climatológica básica para el desarrollo del trabajo correspondió al período 2000-2006, con los datos registrados de Tmax, Tmin y Tmed, Hr y Dcll en la Estación Meteorológica Paso Real de San Diego en Los Palacios y procesados por el Centro Meteorológico Provincial del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) en Pinar del Río.

Se calculó el porcentaje de incidencia mensual de la enfermedad a partir del área germinada y afectada por la Piriculariosis en seis Unidades Económicas Básicas (UEB) Agrícolas del CAI Arrocerero Los Palacios: "López Peña", "La Cubana", "Sierra Maestra", "Cubanacán", "Agrícola Vueltabajo" y "Caribe". Dada la naturaleza de los datos de la incidencia de *P. grisea*, se sometieron a una prueba de bondad del ajuste de las distribuciones, en la que se comprobó el incumplimiento de la premisa de la normalidad, por lo que se transformaron antes de proceder al análisis estadístico.

Se efectuó un análisis de varianza múltiple complementado con la representación gráfica, que permitió describir la tendencia en el comportamiento medio mensual de cada variable. Se ejecutó un análisis de correlaciones y, para los casos significativos entre la incidencia de la enfermedad y las variables climáticas, se determinaron las ecuaciones del modelo de mejor ajuste a esa relación.

Se efectuó, además, el estudio de las series temporales utilizando el método de descomposición estacional aditiva a un total de 60 observaciones por variable con intervalo mensual y una longitud de estacionalidad igual a 12. El procesamiento estadístico de los datos se hizo con ayuda del programa Statgraphics plus versión 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estudios relacionados con los impactos de variabilidad de los elementos del clima en los últimos años, mayormente se han concentrado en las variaciones observadas en los patrones de temperatura y precipitaciones, que constituyen los elementos de forzamiento a la variabilidad (5, 12).

En la Tabla I se presentan los estadígrafos correspondientes a cada variable, donde se destacan Dcll y la incidencia por sus elevados CV. En el caso de Dcll, ese valor expresa la variabilidad en el comportamiento del régimen pluviométrico, que evidencia alteraciones en la distribución temporal de las precipitaciones.

En este sentido, los estudios climáticos han mostrado que esas variaciones se caracterizan por un declive en las precipitaciones y prueba de ello es que la región occidental ha sufrido, en los últimos años, pérdidas significativas en la cobertura nubosa (asociada a las lluvias) en todos los períodos estacionales, que son máximas en la estación de verano y temporada lluviosa (12).

Tabla I. Estimaciones estadísticas resultantes del análisis de varianza de las seis variables estudiadas

Variables	Estadígrafos		
	MG \pm DS	ESx	CV (%)
Tmed	24.5 \pm 2.18	0.63	8.83
Tmin	20.5 \pm 2.61	0.75	12.73
Tmax	30.3 \pm 1.99	0.57	6.58
Hr	81.5 \pm 3.09	0.89	3.78
Dcll	9.28 \pm 4.60	1.33	49.61
Incidencia	39.81 \pm 2.59	0.74	44.75

MG: Media general

DS: Desviación típica

ESx: Error estándar de la media

Por otro lado, los estudios aerobiológicos del moho azul del tabaco han mostrado que, el incremento de la frecuencia de organismos tropicales en el Caribe Occidental ha condicionado una mayor cantidad de eventos de transporte de conidios, como consecuencia del patrón vinculado a la circulación ciclónica (11).

Este mismo fenómeno muy bien pudiera favorecer el transporte o la circulación de conidios de *P. grisea*, procedentes de regiones arroceras de América Central y Sur aledañas al territorio pinareño, propiciando su presencia en el área, por lo que este caso debe estudiarse con más profundidad.

La explicación de la variabilidad en la incidencia es más compleja, pues su expresión no solo está sujeta a las condiciones climáticas, sino también a la variabilidad del patógeno y las características genéticas de las variedades sembradas (2, 13, 14, 15), lo que determina que la reacción ante la enfermedad varíe de una localidad a otra, de un año a otro y de una estación a otra.

En este sentido, la variabilidad de los elementos del clima había sido sugerida, como justificante de la variabilidad detectada en la respuesta de líneas y variedades de arroz ante la Piriculariosis (14).

En la Figura 1 se puede observar la tendencia en el comportamiento de las variables estudiadas; nótese cómo en el caso de las Tmax, Tmin y Tmed, Dcll e incidencia de la Piriculariosis, la tendencia describió una línea creciente-decreciente (ajuste polinomial de segundo grado, $p < 0.05$) como ejemplo de la variabilidad estacional.

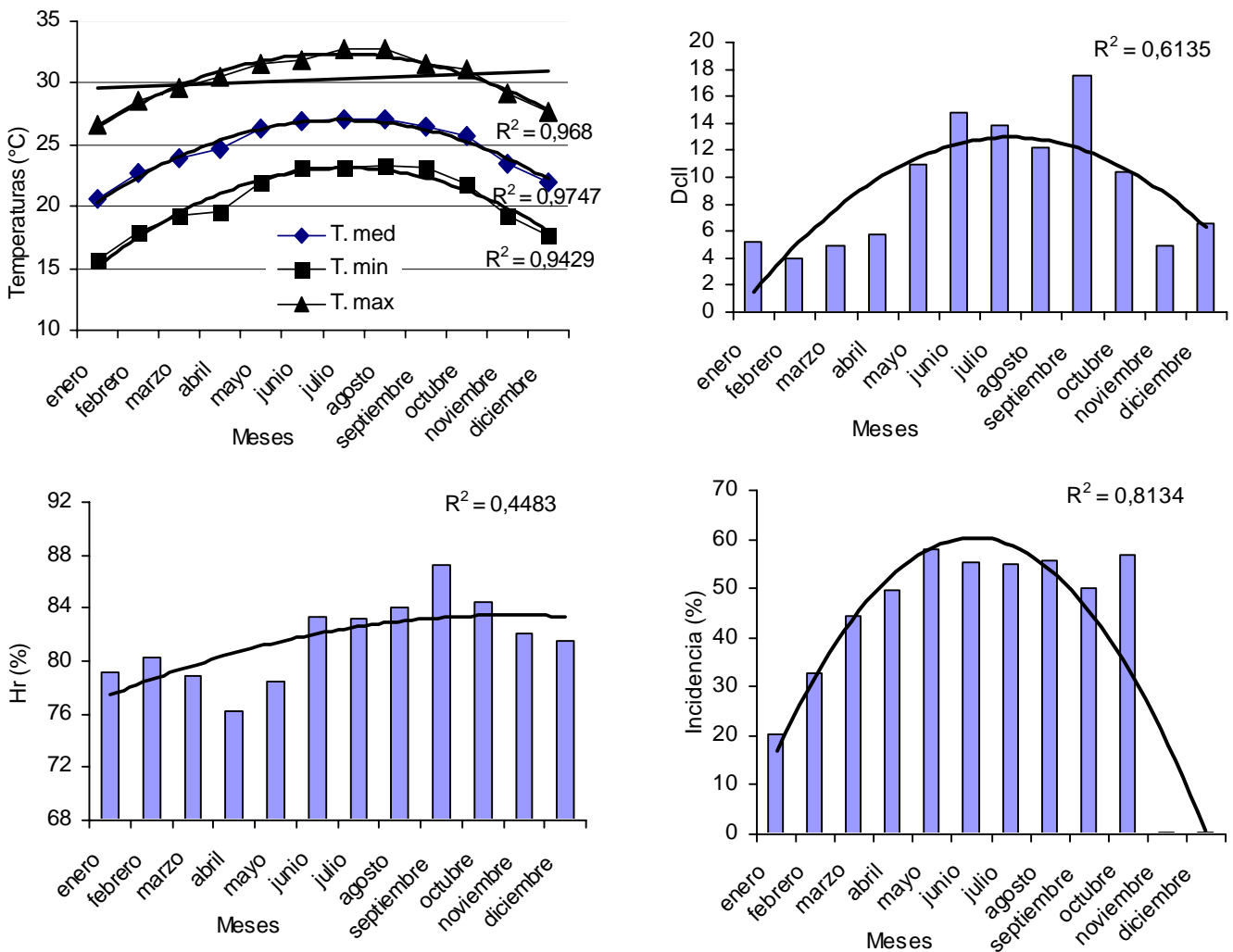


Figura 1. Tendencias en el comportamiento de las Tmax, Tmin y Tmed (A), Hr (B), DcII (C) e incidencia de la Piriculariosis en áreas del CAI Arrocero Los Palacios (D)

En el caso de la Hr, partiendo de valores elevados en enero (por encima del 76 %), mantuvo un incremento ligero y continuo en sus medias mensuales, que están en correspondencia con los pronósticos de las condiciones climáticas (4), que apuntan hacia niveles altos. Se debe tener en cuenta, además, que la existencia de varias presas en el territorio, que aseguran el suministro de agua a las arroceras entre otras actividades, provoca que la radiación solar incida sobre la superficie reflectora formada por el espejo de agua. A esta situación se le suma la existencia de grandes áreas de cultivos en condiciones de aniego, que también podrían contribuir con este fenómeno, por lo que la evaporación se incrementa al responder a un patrón de superficie regular y líquida receptora de radiación, aumentando a su vez la presión de vapor y por ende los valores de Hr (16).

Los resultados en la Figura 1 sugieren una probable dependencia de la incidencia con aquellas variables climáticas que presentaron tendencias similares. El análisis estadístico corroboró esta sospecha, al mostrar su correlación positiva con Tmax, Tmin y Tmed y DcII

(Tabla II), lo que confirma la significación que estas variables climáticas tienen en la presencia de la enfermedad en el territorio.

Tabla II. Matriz de las correlaciones entre las variables climáticas y la incidencia de la Piriculariosis en áreas del CAI Arrocero Los Palacios

	Incidencia	T med	Tmin	Tmax	Hr
T med	0,7923				
Tmin	0,7449	0,9911			
Tmax	0,8111	0,9923	0,9729		
Hr	0,1520	0,4884	0,5939	0,4403	
DcII	0,6161	0,8264	0,8743	0,7857	0,7264

Valores en negrita indican significación $p < 0.05$

Se había informado que la Hr es el principal agente climático que favorece el desarrollo de la enfermedad (17), pero los resultados de este estudio demuestran que las temperaturas y los días con lluvia son en la actualidad los condicionantes que, desde el punto de vista epidemiológico, favorecen la incidencia de la Piriculariosis

en la zona; no obstante, teniendo en cuenta las complejas interacciones que se pueden establecer entre los elementos del clima y los sistemas biológicos, no se descarta una contribución secundaria de la Hr en presencia de la enfermedad, a través de su relación con los días con lluvia y la temperatura mínima.

Los climatólogos cubanos han referido que lo más significativo de la temperatura en los últimos años ha sido el incremento en la mínima y media, que no ha sido significativo en la máxima (5), con la cual la incidencia presentó el coeficiente de correlación más elevado (Tabla II), modelada linealmente mediante la ecuación:

$$\text{Incidencia} = -226,849 + 8,8035 * \text{tmax} \quad (r^2 = 0.6578, p < 0.01)$$

La relación entre el resto de las variables correlacionadas pudo modelarse linealmente mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Incidencia} = -362,003 + 43,748 * \text{Tmed} - 34,4506 * \text{Tmin} + 2,822968 * \text{DcII} \quad (r^2 = 0.7721, p < 0.01)$$

Se prevé que el incremento progresivo de la temperatura conducirá a una disminución en la duración de las fases fenológicas y del ciclo, que será más visible en los cultivos de ciclo corto con hábito de crecimiento determinado, que dispondrán de menos tiempo para la etapa correspondiente a la formación del producto final cosechado (18), lo que puede tener repercusiones en la fitosanidad de esas plantas.

Por otro lado, esta problemática se acentúa si se tiene en cuenta que los arrozales inundados emiten metano (CH_4), uno de los gases de efecto invernadero (GEI), que influye indirectamente en el clima, con alta incidencia sobre el ozono en la troposfera y que su potencial de calentamiento es 21 veces la del CO_2 (4).

La descomposición estacional de las series temporales permitió conocer los patrones estacionales de cada variable a partir de índices positivos y negativos (Tabla III), que reflejan la ubicación de los valores medio, por encima o debajo respectivamente, de la media general (Tabla I), lo que hace factible comparar el comportamiento medio mensual de cada variable, respecto a la media anual sin importar las unidades de medida en que se expresan.

Los índices mostrados reflejan la predominancia de valores medio elevados durante períodos estacionales largos; así, la incidencia presentó índices positivos desde

marzo hasta octubre (ocho meses), coincidiendo con Tmax desde abril a octubre (siete meses) y con Tmed y Tmin desde mayo a octubre (seis meses), mientras que la Hr presentó índices positivos desde junio hasta diciembre (siete meses), que no fueron reconocidos por el resto de las variables.

Este comportamiento confirma la fuerza de las correlaciones entre estas variables (Tabla II) y se encuentra en concordancia con los resultados de las proyecciones climáticas y las salidas de los modelos utilizados en Cuba, para medir los impactos de la variabilidad climática en la salud humana, en los que se evidencia una tendencia al aumento y la modificación de los patrones del alza estacional, que tiene que ver con el hecho de que los inviernos (período poco lluvioso) se han hecho más cálidos y húmedos, lo que propicia condiciones favorables para la circulación de agentes infecciosos (9).

En resumen, se confirma que la variabilidad en la incidencia mensual de la Piriculariosis, en áreas del CAI Arroceros Los Palacios, se correlaciona con las Tmax, Tmin, Tmed y DcII, lo que manifiesta una tendencia creciente-decreciente, que constituye un ejemplo de la variabilidad interanual de estos elementos. Los índices resultantes de la descomposición estacional permitieron una mejor comprensión de los patrones de comportamiento de las variables estudiadas, que evidencian esta variabilidad y que se corresponden con las tendencias y variaciones observadas en el clima actual de Cuba.

REFERENCIAS

1. UNCTAD Descripción del arroz. En: INFOCOM. Información de mercado sobre productos básicos.[en línea] [Consultado: 6/12/07] Disponible en <<http://www.unctad.org/infocomm/espagnol/arroz/descripc.htm>>.
2. Zambrano, A.; Vegas, A.; Cardona, R.; Gutiérrez, Z. y Demey, J. Estructura genética y diversidad de linajes de *Pyricularia grisea* en la zona arroceros venezolana. *Interciencia*, 2006, vol. 31, no. 1.
3. Polón, R. Impacto nacional en el incremento del rendimiento agrícola, economizar agua de riego y energía en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) como consecuencia del estrés hídrico [en línea] 2006. XVI Fórum de ciencia y técnica.[en línea] [Consultado: 15/7/09] Disponible en: <<http://www.forumcyt.cu/UserFiles/forum/Textos/0109604.pdf>>.

Tabla III. Índices resultantes de la descomposición estacional de las series temporales

Mes	Incidencia	Tmed	Tmin	Tmax	Hr	DcII
Enero	-17,5417	-4,3173	-5,1034	-3,8304	-2,5451	-3,8246
Febrero	-3,6950	-1,8658	-2,2872	-1,6769	-1,0024	-5,2100
Marzo	3,2334	-0,8802	-1,3334	-0,6615	-3,0722	-5,0017
Abril	9,8250	-0,0836	-0,8337	0,2336	-6,0998	-3,8976
Mayo	22,3098	1,4553	1,4931	1,1276	-3,0149	2,1024
Junio	18,7983	2,1060	2,7172	1,5046	2,1144	6,6233
Julio	14,0729	2,4383	2,6768	2,6048	1,4364	2,8420
Agosto	12,5530	2,2594	2,6868	2,3142	2,4770	2,2274
Septiembre	8,8539	1,5814	2,5416	1,2656	6,1390	9,9358
Octubre	14,7400	1,0689	1,3729	0,8895	2,3260	0,9670
Noviembre	-41,3354	-1,1921	-1,2542	-1,1789	0,6322	-4,2413
Diciembre	-41,8144	-2,5704	-2,6766	-2,5923	0,6092	-2,5225

4. UPT. Curso Cambio Climático. Parte 2. Suplemento Especial. La Habana: Editorial Academia, 2008 ISBN: 978-959-270-129-8.
5. Centella, A. y Naranjo, L. Cambios climáticos: sus impactos. *Juventud Técnica*, 2001, no. 298, p. 6-8.
6. Gore, A. La verdad incómoda. Conferencia sobre el Calentamiento Global.[en línea] [Consultado 22/4/2007] Disponible en: <ftp://intranet.inca.edu.cu/videos/conferencias/>.
7. IPCC. Summary for Policymakers (Resumen para decisores). En: *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (M.L. Parry, O.F. Canziani, J. P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. hanson, eds.) Cambridge : University Press, 2007 p: 7-22,.
8. Centella, A. Cuba ante el cambio climático: Estudios de vulnerabilidad y adaptación y proceso de la segunda comunicación nacional. [en línea]Taller de Diálogo Nacional-GEF. Ciudad Habana, 13-15 nov. 2006. [Consultado: 25/7/09] Disponible en: <http://www.unpd.org.cu>.
9. Ortiz, B. P. Modelos para la evaluación del impacto y pronóstico de enfermedades a partir de las condiciones climáticas. Impacto Económico: [Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Económicas]. La Habana : Universidad de La Habana, 2005.
10. Alcolado, P. Efecto del cambio climático sobre los arrecifes coralinos del Caribe: caso Cuba. En: VIII Congreso de Ciencias del Mar-Marcuba'2009. y XIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar-ColacMar. 26-30 octubre. La Habana: Palacio de Convenciones, 2009.
11. Lopetegui, C. M.; Moreno, G.; Malagón, M.; Torres Y.; Estévez M. E. y González, M. Aplicaciones de la aerobiología en el sistema de predicción y vigilancia de la enfermedad moho azul del tabaco en la provincia Pinar del Río, Cuba. *Avances*, 2006, vol. 8, no. 4.
12. Martínez, E.; García, E. y Arribas, A. Variaciones y tendencia de la cobertura nubosa en Cuba. En: IV Congreso Cubano de Meteorología. 4 al 8 de diciembre La Habana: Sociedad Meteorológica de Cuba, 2007.
13. Franco, A.; M endez, A. y Garza, R. Tizón foliar del pasto Buffel: su presencia en Tamaulipas, México. *Agricultura Técnica en México* 2007, vol. 33, no. 3 sep/dic.
14. Cárdenas, R. M.; Pérez, N.; Cristo, E.; González, M. C. y Fabr e, L. Estudio sobre el comportamiento de líneas y variedades de arroz (*Oryza sativa* Lin.) ante la infección por el hongo *Pyricularia grisea* Sacc. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no. 4, p. 83-87.
15. Livore, A. Desarrollo de una estrategia para la obtención de resistencia duradera a *Pyricularia grisea* en arroz en el Cono Sur: Proyecto Fontagro-Convenio IICA-BID FTG/99-02-RG. Informe Técnico Final, 2005. 29 p.
16.  lvarez, R.;  lvarez, L. y Aenelle, L. Acerca del cambio hasta el año 2025 en el par temperatura-humedad relativa del aire debido a la instalación de presas. En: IV Congreso Cubano de Meteorología. 4 al 8 de diciembre. La Habana: Sociedad Meteorológica de Cuba, 2007.
17. Fabregat, M. Aspectos bioecológicos y control de *Pyricularia oryzae* Cav. en el arroz. [Tesis para optar por el grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas]. La Habana: Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias, 1984.
18. Rivero R. E.; Rivero, R. y Rivero, Z. I. Cambios climáticos: Impactos agrícolas y adaptación: En: Memorias del Tercer Congreso de Meteorología, La. Habana, diciembre del 2005, 11 p.

Recibido: 4 de mayo de 2009

Aceptado: 19 de octubre de 2009