

Sistema de Pronóstico de Rendimientos Agrícolas para el Cultivo del Arroz basado en modelos biofísicos de cultivo.

***Roger R. Rivero Jaspe (*), Roger E. Rivero Vega (*)
e Ignacio C. Martínez Galindo (*).***

Colaboradores: *Albert Rodríguez, Julia Morejón, Olinda Padilla, Iomaris Pérez*

**(*) *Centro Meteorológico de Camagüey
Carretera de Nuevitás, km 7 ½
Camagüey, Cuba, Apdo 160, CP 70100
Tfno.: (53-32) 261103, 261284
Email (Autor principal): rogerjr@met.cmw.inf.cu***

Resumen.

En este trabajo se realiza un estudio de los métodos posibles para generar pronósticos de rendimientos agrícolas para el cultivo del arroz a partir de la modelación biofísica. Se hace un análisis de tres metodologías posibles y se desarrolla dos de ellas, una de las cuales contempla el uso de pronósticos climáticos a largo plazo. Para la aplicación de estos métodos se estudió la relación existente entre los rendimientos potenciales de los cultivos predichos por los modelos y los rendimientos reales promedios obtenidos en la provincia, obteniéndose ecuaciones de correlación para aquellas variedades que disponían de suficientes observaciones y coeficientes que expresan la relación entre las salidas de los modelos y los rendimientos reales para el resto de los casos. Se llega a la conclusión de que es posible establecer un pronóstico de rendimiento de la media provincial a partir de los 90 días de germinado el cultivo.

Abstract.

A research on methods to obtain yield forecasting for rice based on crop models has being carried out in our institution. In this paper we have analyzed three methodologies and we have developed two of them, one of which consider the use of climate forecasting. A correlation between estimated potential (irrigated) yields and actual yields has been obtained for those cultivars with enough available data and a "technological" coefficient (ratio) between actual and estimated yield has being obtained for the remaining cultivars. The most important conclusion is that a good-enough forecast of mean yield for the region is possible 90 days alter germination, with an error that lies within the 15 % error introduced with the correlation curves.

Introducción.

El pronóstico de los rendimientos agrícolas es uno de los objetivos básicos de la meteorología agrícola en el ámbito mundial, y objeto de estudio y desarrollo actual

en los países desarrollados (Karthikeyan et al., 1996). Constituye una herramienta muy valiosa para los productores directos y para los órganos de dirección, ya que pueden ser utilizados para tomar las medidas agrotécnicas necesarias para optimizar el rendimiento en condiciones adversas, organizar las fuerzas y medios a realizar las cosechas así como preparar las condiciones de transporte y almacenamiento de la producción final; ejecutar planes de cultivos emergentes para reducir el impacto negativo de producciones finales insuficientes y obtener un mejor balance alimentario; y ejecutar acciones para aprovechar circunstancias favorables de los precios en el mercado mundial, tanto para vender y colocar sus productos agrícolas como para comprar los alimentos necesarios para compensar una producción insuficiente de alimentos para la población.

Sin embargo la realización de tales pronósticos de rendimiento constituye una tarea técnica muy compleja y difícil que casi nunca logra realizarse con la antelación necesaria y que, debido a la alta tecnología requerida, sólo se obtiene a un precio muy alto y principalmente en los países desarrollados.

Ante esta necesidad hemos desplegado desde 1999 un esfuerzo encaminado hacia la solución de este problema empleando técnicas muy avanzadas asociadas al empleo de Modelos Biofísicos de Cultivo (Rivero *et al.*, 1999). Tales técnicas parten del presupuesto de que la variabilidad climática natural es la causante principal de la variabilidad en los Rendimientos Agrícolas Reales. Esta sería complementada entonces por un conjunto de factores relacionados con el nivel realizado de la tecnología agrícola (suelos, fertilizantes, métodos de riego y sistema de lucha integrado contra plagas y enfermedades) y de la disciplina tecnológica.

El uso de los modelos biofísicos introduce la necesidad de valorar su capacidad de reflejar el mundo real. La generalidad de los modelos biofísicos de cultivo es incapaz de simular con precisión el rendimiento agrícola en "condiciones reales" de campo, limitándose a simular el rendimiento agrícola que se obtendría en ciertas condiciones idealizadas de cultivo. Tales rendimientos idealizados suelen ser denominados rendimientos potenciales, rendimientos potenciales de riego y rendimientos potenciales de secano. Aunque estos modelos tienen, en principio, condiciones de validez universales siempre es necesario validarlos y calibrarlos en

las condiciones del lugar. Sin embargo esto último resulta casi imposible en las condiciones de campo en nuestras unidades de producción agrícola, lo cual impone que la mayoría de los métodos de pronóstico impliquen la utilización de relaciones estadísticas entre lo predicho por los modelos biofísicos y los rendimientos reales de campo. A tales métodos los denominaremos como *métodos de pronóstico basados en modelos biofísicos con procesamiento estadístico a la salida*.

El primer ensayo de obtener una vía de solución al problema se realizó utilizando predictores intermedios para estudiar la influencia de la variabilidad climática sobre los rendimientos potenciales de regadío del arroz cultivado por la técnica tradicional de aniego en Camagüey (Rivero et al., 1999), empleando los datos climáticos de Camagüey del período 1971 – 1990. Los errores de los datos de los rendimientos de campo disponibles del período 1991 – 93 no permitieron ajustar la metodología, pero fortaleció nuestra confianza en sus perspectivas de éxito. Fue la primera vez que un modelo biofísico se usaba para estos fines en Cuba. Se obtuvo una alta correlación entre la radiación solar global durante la cuarta fase del ciclo de cultivo (S4) nombrada fase lineal de llenado del grano y el rendimiento potencial final (R) predicho por el modelo. La ecuación de regresión lineal obtenida resultó ser,

$$\mathbf{R = 2352.3 + 390.38 S_4} \quad \text{con coeficiente de correlación } \mathbf{r = 0.845}$$

Una metodología mas avanzada fue aplicada a fines de 1999 para el cultivo de la papa, El análisis de las correlaciones entre los rendimientos potenciales de regadío para la papa en Camagüey y los rendimientos reales en Sierra de Cubitas durante 1976 – 99 resultaron una confirmación de la potencialidad de los modelos para reflejar las condiciones reales de cultivo. Los resultados del modelo presentaban un coeficiente de correlación de 0.871 con los rendimientos reales.

Los métodos de elaboración de pronósticos de rendimiento agrícola pueden clasificarse en métodos que no utilizan modelos biofísicos de cultivo (pronósticos estadísticos de rendimiento), y métodos que los utilizan. Los métodos estadísticos asumen que existen relaciones significativas entre parámetros meteorológicos y agrícolas intermedios y los rendimientos finales pero esto sólo es conocido a posteriori. Estos resultan siempre limitados a las condiciones espacio-temporales y al rango de vigencia de las variables de la muestra dependiente con que fueron

obtenidos. La principal dificultad de utilizar estos métodos en países en desarrollo radica en la inexistencia de una base de datos agrícolas que posea la extensión y calidad suficiente como para obtener relaciones estadísticas significativas.

En el presente proyecto se ha evaluado un método avanzado para la elaboración de pronósticos de los rendimientos agrícolas que, en gran medida, promete superar las deficiencias atribuidas a otras técnicas.

Materiales y Métodos

En el marco del presente trabajo se han implementado y evaluado dos métodos de pronóstico de rendimiento para el cultivo del arroz tomando como referencia los rendimientos reportados por entidades productoras de este cereal, y comparándolos con los rendimientos simulados por un modelo biofísico específico de cultivo.

Los métodos de pronóstico de rendimiento fueron los siguientes:

1. Pronóstico sin pronóstico climático.
2. Pronóstico con pronóstico climático.

El primero, discutido ampliamente en la literatura (Karthikeyan et al., 1996; Hoogenboom, 2000), consiste en alimentar la entrada del modelo biofísico utilizando datos climáticos diarios reales hasta una fecha determinada y reemplazar los datos del resto del ciclo de cultivo por los de cada uno de los años disponibles en la serie histórica de la localidad para generar una muestra de resultados que se procesan estadísticamente a la salida. A partir de los resultados obtenidos se calcula el rendimiento real en las condiciones tecnológicas y de producción de la localidad o región. El pronóstico de rendimiento del cultivo que se obtiene por este método antes de la siembra es el valor medio del rendimiento histórico de la base de datos disponible.

El segundo método consiste igualmente en alimentar la entrada del modelo biofísico usando datos climáticos diarios reales hasta una fecha determinada, reemplazando los restantes por los de una serie de años estimados aleatoriamente mediante el uso de un generador meteorológico estocástico (Tsuji *et al.*, 1994; Nicks et al., 1995; Dubrovsky, 1998; Semenov and Jamieson, 2000; Rivero, 2002). Esta serie de años

se obtiene a partir del uso de los pronósticos climáticos o meteorológicos a largo plazo, cuyo uso introduce tres dificultades adicionales. La primera es que son de carácter estadístico, proporcionando a veces sólo probabilidades de ocurrencia y no valores determinísticos. La segunda radica en que reflejan usualmente valores medios mensuales o decenales mientras que los modelos biofísicos requieren por lo general de datos diarios. La tercera dificultad consiste en que algunas variables climatológicas que pueden ejercer una influencia marcada no son pronosticadas en la actualidad. Esto obliga al uso de ciertas técnicas similares a las utilizadas en la creación de escenarios de cambio climático (INSMET, 1999).

Para la implementación de estos métodos se simularon los rendimientos potenciales en el período 1995 – 2001 en un total de 104 siembras. Los resultados estimados por el modelo biofísico fueron empleados para obtener relaciones estadísticas significativas con los rendimientos reales extraídos de los registros de la empresa arrocera de la provincia en el mismo período. Estas relaciones son las que se aplican a la salida de los modelos en cualquiera de los dos métodos de pronóstico para obtener el estimado del rendimiento real en condiciones de campo.

El modelo que ha sido empleado en este estudio fue el modelo biofísico de cultivo CERES – Rice 3.5, incluido en la versión 3.5 del sistema DSSAT (Tsuji *et al.*, 1994). La base de datos climatológicos diarios utilizada en el trabajo se refiere básicamente a la obtenida en Camagüey durante el período 1961 – 2002 (Rivero *et al.*, 2002). Los datos de rendimientos agrícolas fueron tomados de los registros que lleva la empresa CAI Arrocero “Ruta Invasora” (Campoyo, 2002).

Para el procesamiento estadístico se recurrió a las fórmulas tradicionales de media y desviación estándar (denotada como “desv” en las figuras que aparecen en el texto). Se emplearon también otras medidas como son el máximo y mínimo obtenido en la simulación y se introdujeron dos nuevas que resultaron de aplicar la formulación de la desviación estándar. Estas dos fueron nombradas como desviación positiva, resultado de aplicar la fórmula a los valores con anomalía positiva (valor mayor que la media) denotándosele “desvP”, y desviación negativa, calculada para los valores con anomalía negativa y denotada como “desvN”.

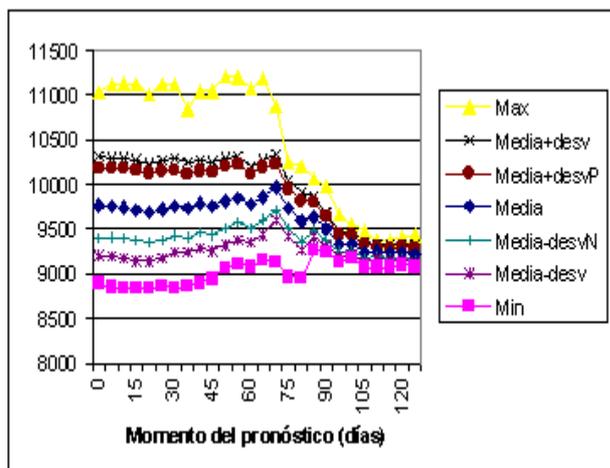
Existen dos formas posibles de obtener el pronóstico de rendimiento de una campaña, o sea, del rendimiento promedio que se obtiene haciendo un gran número de siembras en diferentes campos y fechas durante un período corto de algunos meses. La primera consiste en la simulación de cada siembra realizada y promediar luego para cada campaña. A esta forma de realizar la simulación o el pronóstico lo denominamos como **método intensivo**, e implica un gran número de corridas del modelo, ya que hay que realizar el pronóstico periódicamente, haciendo una corrida para cada uno de estos sembrados.

La segunda consiste en simular las campañas de frío y primavera mediante solo ocho realizaciones del sistema de pronóstico, considerando el método sin pronóstico climático y con pronóstico climático en cada campaña y cuatro fechas de siembra que fueron el día primero de cada mes desde enero a abril para las campañas de frío y de mayo a agosto para las de primavera. A esta forma de realizar la simulación o el pronóstico lo denominaremos como **método simplificado**, y disminuye considerablemente los cálculos pues son necesarias periódicamente solo cuatro corridas.

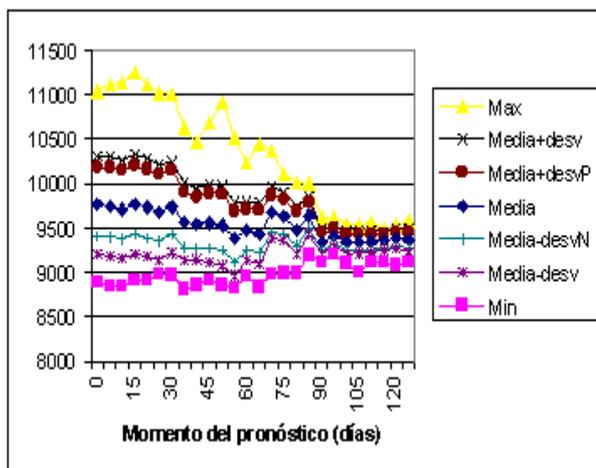
Ambos métodos fueron evaluados en el presente trabajo con los datos de las campañas 2001 – 2002. Para evaluar los métodos que incluyen el pronóstico climático se tomó como solución emplear las medias mensuales reales ocurridas en el período de evaluación como si fueran el pronóstico climático a largo plazo realizado al comienzo del cultivo.

Análisis y discusión de los resultados.

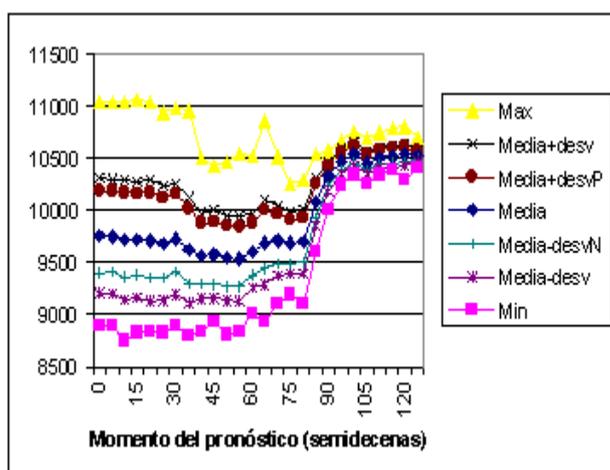
Al estudiar la evolución de los valores de rendimiento de materia seca en kg/ha estimados por este método a medida que transcurre el ciclo del cultivo (Rivero et al., 2000) obtenemos los resultados de la figura 1. Se encontró que existe poca diferencia entre los valores obtenidos de la desviación estándar y la desviación positiva, no así entre los de la desviación estándar y la desviación negativa, por lo que se decidió incluirlos en el análisis como un factor adicional para la toma de decisiones. En estas campañas se puede observar que el rango de los rendimientos simulados se estrecha sensiblemente a partir de cierto momento y el rendimiento potencial final siempre se encuentra dentro del rango de los simulados al comienzo.



a) Campaña 1994-95.



b) Campaña 1997-98.



c) Campaña 1998-99

Figura 1. Pronóstico de rendimientos potenciales en periodos de 5 días para varias campañas de frío con fecha de siembra el 1º de diciembre.

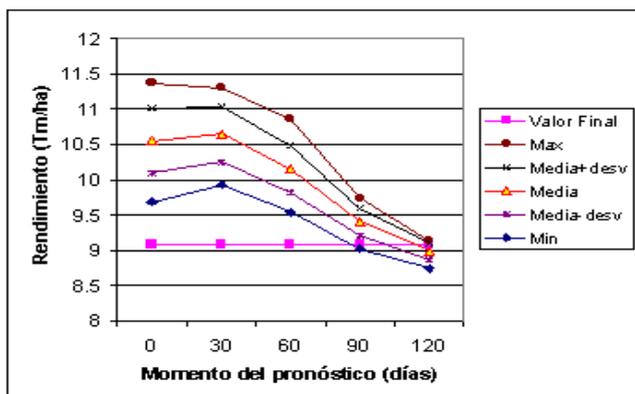


Figura 2. Pronóstico de rendimientos potenciales en periodos de 30 días para la campaña de frío 1995-96 con fecha de siembra el 1º de diciembre.

Sin embargo, los estudio de Rivero et al. (1999) muestran que en años particularmente anómalos se produce lo que los autores denominaron como “deriva del pronóstico”. Un ejemplo se puede apreciar en la figura 2, donde el término “valor final” indica el rendimiento final obtenido con el modelo en la campaña usando

datos climáticos reales en el ciclo completo.

La hipótesis subyacente dentro del método utilizado es que el rendimiento final se encuentra siempre dentro del rango de rendimientos simulados por el modelo al comienzo, de tal modo que al avanzar el ciclo de cultivo objeto del pronóstico ese rango se va estrechando alrededor de

dicho rendimiento por lo que a partir de cierto momento, el rango de los

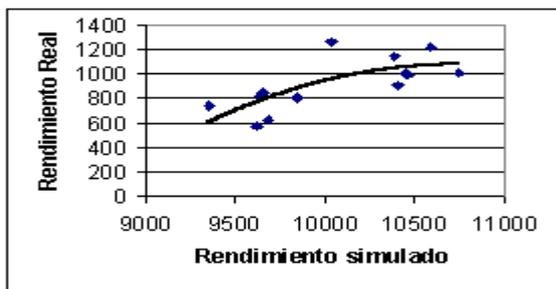


Figura 3. Relación entre el rendimiento simulado y el real en condiciones de campo para el período 1995 – 2001 en la provincia Camagüey.

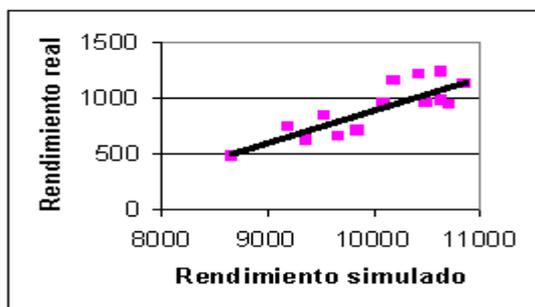


Figura 4. Relación entre el rendimiento simulado y el real en condiciones de campo para la variedad Perla.

rendimientos simulados es lo suficientemente estrecho como para realizar un pronóstico útil del rendimiento final esperado.

En este experimento no sucedió así porque una de las variables de mayor influencia (la radiación solar global) alcanzó sistemáticamente valores más bajos que los alcanzados en las 20 campañas precedentes. Esto significa que sólo los pronósticos emitidos después de los 80 días de germinado el cultivo podían tener cierto valor práctico pues contenían ya dentro de su rango de variabilidad al rendimiento final simulado. No obstante podemos apreciar cómo a partir de cierto

momento entre los 30 y los 60 días la curva presenta una tendencia que apunta rápidamente hacia el resultado final, dando la posibilidad de estimar el mismo. La enseñanza consiste en que este método requiere de series históricas lo suficientemente largas como para contener toda la variabilidad posible de las variables climáticas motrices, desde el primer momento de la simulación. La longitud mínima de estas series aún no ha podido ser estimada. Esta circunstancia no es obligatoria, pues a partir de cierto momento el pronóstico derivará hacia el resultado final con suficiente antelación, cuando ya resulta conocida la situación climática real que ha atravesado el cultivo durante sus fases iniciales y medias.

Para establecer las ecuaciones de correlación entre los rendimientos simulados y los reales en condiciones de campo reportados por las diferentes entidades se promediaron los datos de cada campaña (figura 3), obteniéndose la siguiente relación, con una varianza explicada de 54 %:

$$Y = -0.0002 X^2 + 5.2582 X - 27161 \quad (R^2 = 0.5357)$$

Donde,

X – promedio del rendimiento estimado por el modelo para todas las fechas de siembra (kg/ha)

Y – rendimiento real promedio para la campaña en cuestión (qq/cab)

Esta ecuación de correlación no hace distinción entre variedades, por lo que se puede emplear para obtener el pronóstico promedio de todos los campos sembrados.

Un estudio más minucioso conlleva a la obtención de relaciones para cada variedad. Esto fue posible para dos de ellas que fueron sembradas en un número significativo de años en la base de datos disponible. Estas fueron las variedades conocidas como Perla y J-104.

Para el Perla (figura 4) se obtuvo la siguiente relación:

$$Y = 0.2997 X - 2102 \quad (R^2 = 0.7107)$$

Y para el J-104 (figura 5a) fue

$$Y = 0.2943 X - 2022.3 \quad (R^2 = 0.3193)$$

Como se observa, para esta variedad se obtuvo una baja correlación, sin embargo, al eliminar los tres puntos más aberrantes (figura 5b) se mejoró considerablemente el resultado, obteniéndose

$$Y = 0.4999 X - 4111.2 \quad (R^2 = 0.8653)$$

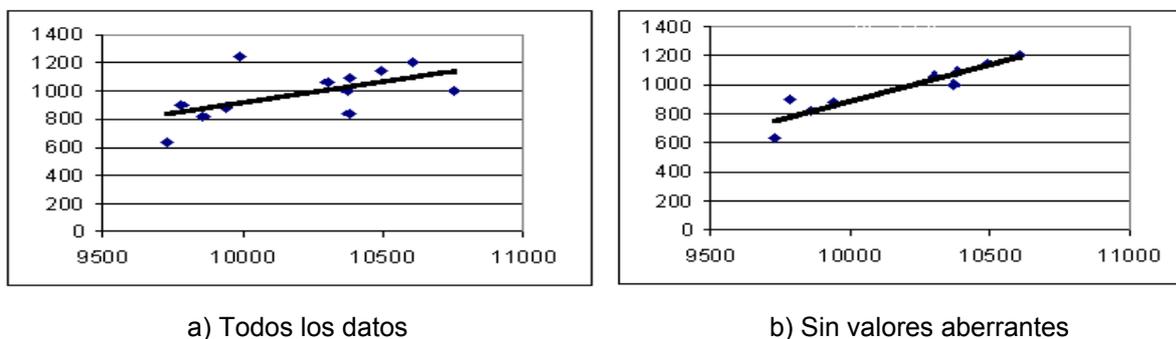


Figura 5. Relación entre el rendimiento simulado y el real en condiciones de campo en Camagüey para la variedad J-104.

Para aquellas variedades de las que no se dispone de series históricas suficientemente extensas de rendimientos reales (tabla 1) se utilizó el método de la eficiencia tecnológica (Rivero *et al.*, 1999). Esta técnica asume que, a causa de deficiencias tecnológicas en la producción agrícola, el rendimiento real es sólo una fracción constante del rendimiento potencial de modo que,

$$Y = E^* \cdot X = E \cdot C \cdot X$$

Donde

E – eficiencia tecnológica

C – coeficiente de conversión de unidades

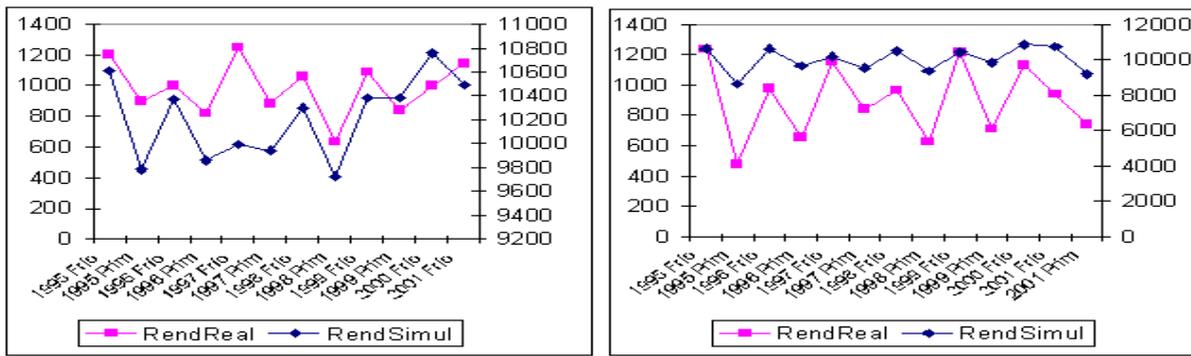
E* – eficiencia tecnológica equivalente (igual al producto de E por C)

Nuestros resultados arrojaron que la variabilidad interestacional del clima explica la fluctuación interestacional de los rendimientos reales (figura 6). También explica la fluctuación interanual, aunque en un menor grado, por lo que sospechamos existan otros factores humanos que incidan en los mismos en el mismo orden de aproximación, tales como cambios en las épocas de siembra, cambios de tecnología o cambios en la disciplina tecnológica e informativa e incluso del personal en sí mismo que labora con el cultivo.

Tabla 1. Producto de la eficiencia tecnológica y el factor de conversión de unidades para diferentes variedades de arroz en la provincia Camagüey

Variedad	Eficiencia tecnológica equivalente (E*)
4024	0.0737
Reforma	0.1055
IAC-17	0.0638
IAC-19	0.0760
IAC-21	0.0763
IAC-25	0.0388
IAC-28	0.1195

Como se observa, no existe tendencia alguna durante este período para el caso del Perla, y para el J-104 no existe tendencia en forma general, aunque en el caso de los rendimientos reales reportados se observa un bajío a mediados del período con una tendencia a subir al final, pero la serie resulta demasiado corta para sacar conclusiones de este comportamiento. Al no existir estas fluctuaciones en los rendimientos simulados estimamos que los mismos no se deben a causas climáticas sino a problemas de otra índole atribuibles a fertilizantes, calidad del suelo o las aguas de riego o incluso a la afectación por enfermedades o problemas de manejo del cultivo.



a) J-104

b) Perla

Figura 6. Comparación de la influencia de la variabilidad climática interestacional e interanual en los rendimientos de arroz para distintas variedades.

Las tendencias en los rendimientos pronosticados cada 5 o 10 días a partir de la germinación fueron visibles después de los 60 a 70 días, por lo que sólo a partir de este momento es necesario darles seguimiento.

El método consistente en emplear datos meteorológicos diarios y datos obtenidos por un generador estocástico para la localidad es discutido por primera vez en Cuba en el presente trabajo. Esta técnica permite utilizar la predicción climática a largo plazo.

El procedimiento a seguir para elaborar series estadísticas con un generador estocástico y realizar los pronósticos de rendimiento pasa por tres etapas.

Primer paso: Preparación del generador estocástico. Se procede a calibrar el generador con una serie de datos reales representativos de dicha localidad, para deducir una serie de parámetros estadísticos previos. La longitud necesaria de las series de datos es diferente entre generadores y variables. Para datos diarios las series necesarias para la calibración del generador como el WGEN (Richardson y Wright, 1984) tienen una longitud típica de 5 años (Tsuji et al., 1994).

Segundo paso: Generación de la serie aleatoria. Una vez calibrado el generador estocástico este es capaz cualquier cantidad de series temporales consistentes con los valores climatológicos medios, y cuya longitud no está ligada a la de la serie histórica. Para incluir el pronóstico climático se reemplazan los valores medios obtenidos durante la calibración por los valores pronosticados.

Tercer paso: Corrida del modelo biofísico. El modelo biofísico se correrá sobre la base de datos híbrida entre datos reales y generados y los resultados se procesarán estadísticamente, aplicándole las correlaciones obtenidas en el presente trabajo.

Durante la evaluación de la metodología obtenida la prueba del error de estimación de las ecuaciones de correlación arrojó un valor de 15 %, el cual atribuimos a cambios de la eficiencia tecnológica y a problemas de manejos, plagas y enfermedades, deficiencia nutricional y otros factores.

Tabla 2. Rendimiento pronosticado para diferentes etapas de la campaña, según el método simplificado.

	Pronóstico a los 10 días				Pronóstico a los 80 días				Pronóstico a los 90 días				Rend Final
	desv	Rend	+desv	-desv	desv	Rend	+desv	-desv	desv	Rend	+desv	-desv	
Enero 2001	148	923	1070	775	81	857	937	776	31	904	934	873	935
Febrero 2001	169	1123	1292	953	60	1137	1197	1078	28	1131	1158	1103	1103
Marzo 2001	136	1087	1224	951	67	1102	1170	1035	25	1086	1111	1061	1077
Abril 2001	120	995	1115	875	45	1028	1074	983	21	1040	1061	1019	1050
Frio 2001	143	1032	1175	889	63	1031	1094	968	26	1040	1066	1014	1041
Enero 2002	162	931	1092	769	37	802	839	765	15	799	814	783	812
Febrero 2002	174	1124	1299	950	51	1236	1288	1185	24	1238	1262	1214	1272
Marzo 2002	144	1105	1249	961	23	1062	1085	1039	20	992	1012	972	1025
Abril 2002	120	1013	1133	894	34	775	809	740	23	802	825	779	760
Frio 2002	150	1043	1193	893	36	969	1005	932	21	958	978	937	967
Mayo 2001	100	1014	1114	914	27	1011	1038	985	21	974	994	953	953
Junio 2001	77	978	1054	901	27	912	939	885	16	879	895	864	887
Julio 2001	102	801	902	699	18	763	781	745	14	749	763	735	760
Agosto 2001	103	545	648	442	14	458	471	444	11	447	458	436	448
Prim 2001	95	834	930	739	21	786	807	765	15	762	778	747	762
Mayo 2002	108	1029	1136	921	33	1020	1053	986	16	1018	1034	1003	1029
Junio 2002	78	980	1058	902	18	917	936	899	15	931	946	917	914
Julio 2002	92	768	859	676	23	472	495	449	14	436	450	421	436
Agosto 2002	100	577	677	477	21	507	528	486	13	519	532	506	535
Prim 2002	94	838	933	744	24	729	753	705	14	726	740	712	728

En todos los casos se obtuvo como resultado que se puede dar un pronóstico de rendimientos a los 80 días de sembrado el cultivo, obteniéndose más precisión a los 90 días. La desviación estándar de los cálculos realizados al comienzo del cultivo está entre el 10 y el 20 % del rendimiento medio pronosticado y entre 15 y 20 % del rendimiento simulado al final de la campaña (Tabla 2). A los 80 días ya el valor de la desviación estándar ha bajado y está tan solo entre el 2 y el 5 % del rendimiento medio y a los 90 días está entre el 1 y 3 %, mostrando una indudable mejoría.

En la tabla 3 se muestran los resultados de correr el modelo según método intensivo y se observa que el error se mantiene dentro del 15% inherente a la ecuación de

correlación. En la tabla 4 se observan los resultados del método simplificado, los cuales son similares a los anteriores y mantienen el mismo rango de error.

Tabla 3. Error del rendimiento final simulado ejecutando el modelo según el método intensivo.

	Rendimiento Real	Rendimiento Simulado	diferencia	error
Frio 2001	999	1043	44	4.21%
Prim 2001	737	681	-56	8.22%

Tabla 4. Error del rendimiento final simulado ejecutando el sistema de pronóstico según el método simplificado.

	Rend Real	10 días			80 días			90 días			Final		
		Rend Pron	dif	error	Rend Pron	dif	error	Rend Pron	dif	error	Rend Pron	dif	error
Frio 2001	999	1032	33	3.20%	1031	32	3.12%	1040	41	3.95%	1041	42	4.05%
Prim 2001	737	834	98	11.70%	786	49	6.24%	762	25	3.33%	762	25	3.32%

Conclusiones

Como resultado de nuestro trabajo hemos comprobado que la variabilidad del clima se refleja en la variabilidad de los rendimientos simulados por el modelo. La variabilidad espacio-temporal de los rendimientos es susceptible de pronosticarse empleando las técnicas estadísticas pertinentes y un modelo biofísico.

Los pronósticos elaborados comienzan a poseer una tendencia definida alrededor de los 70 días posteriores a la fase de germinación del cultivo, estabilizándose alrededor de los 90-100 días, lo que en términos fenológicos representa unos 15 días después del comienzo de la fase de paniculación y unos 10 días antes del comienzo de la fase lineal de llenado del grano. Los pronósticos emitidos comienzan a resultar valiosos desde el punto de vista agrícola a partir de los 80-90 días de germinado el cultivo en el campo, unos 40 a 50 días antes de la fecha de corte, dando tiempo a una oportuna organización de las labores de cosecha.

Con la inclusión del pronóstico climático el rango de variaciones desde un comienzo se encuentra más centrado alrededor del valor esperado al final de la campaña, que sin el uso del mismo donde la deriva de los resultados se puede ir hacia un extremo u otro del rango.

Se ha establecido la validez del método de pronóstico obtenido y se ha llegado a la conclusión de que se mantiene en un rango de error de hasta el 15 %, o expresado de otra forma, con un 85 % de confiabilidad. Adicionalmente se ha observado que por lo general el resultado final se encuentra entre el máximo y mínimo pronosticados a los 80 días del cultivo.

Referencias.

Campoyo (2002): Datos de manejo de las campañas arroceras en el Complejo AgroIndustrial (CAI) "Ruta Invasora". Comunicación personal.

Dubrovsky, Martin (1998): estimating climate change impacts on crop yields with use of crop growth model and weather generator. Presented at 78th Annual Meeting of the American Meteorological Society, Phoenix, 11-16 January 1998, <http://www.ufa.cas.cz/dub/impacts/phoenix2.htm>, 11 November 2002.

Hoogenboom, G. (2000): The state-of-art in crop modeling applications. In Climate Prediction and Agriculture (Sivakumar, M. V. K., ed). Proceedings of the START/WMO International Workshop held in Geneva, Switzerland, 27 – 29 September 1999, Wasington D. C., 69 - 76 pp

Karthikeyan et al. OMM (1996): Guía de Prácticas Agrometeorológicas.

INSMET (1999): Impactos de los cambios climáticos y medidas de adaptación en Cuba. Informe Científico Técnico, La Habana, Cuba. Premio Especial Ministra del CITMA.

Nicks, A.D., L.J. Lane and G.A.Gander (1995): Chapter 2. Weather generator. In: USDA Water Erosion Prediction Project (WEPP), USDA-ARS-MWA Technical Documentation, NSERL Report No. 10, 22 pp.

Richardson, C.W. and D.A. Wright (1984): WGEN: a model for generating daily weather variables. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Sevice, ARS-8, Washington, DC.

Rivero, R. E., R. R. Rivero, I. C. Martínez y D. R. García (1999): Impacto de la variabilidad y el cambio climático sobre el cultivo del arroz en Camagüey. Informe científico – técnico, Centro Meteorológico de Camagüey, 18 transparencias

Rivero, R. R., (2002): Procedimiento de cálculo para la generación de datos climáticos diarios futuros a partir de pronósticos climatológicos mensuales y estacionales. Informe Científico Técnico, Centro Meteorológico de Camagüey, 6 pp.

Rivero, R. R., I. C. Martínez y R. E. Rivero (2000): Pronóstico de los rendimientos de arroz mediante modelos biofísicos. Informe científico – técnico, Centro Meteorológico de Camagüey, 10 transparencias.

Rivero, R. R., R. E. Rivero, A. Agramonte, et al. (2002): Base climática de datos diarios de las estaciones meteorológicas de Camagüey [inédito]. Informe científico técnico, 6 pp + ficheros.

Semenov, M. A. and P. D. Jamieson (2000): Using weather generators in crop modeling. In Climate Prediction and Agriculture (Sivakumar, M. V. K., ed). Proceedings of the START/WMO International Workshop held in Geneva, Switzerland, 27 – 29 September 1999, Washington D. C., 119 – 142 pp

Tsuji, G. Y., G. Uehara, S. Balas and G. Hoogenboom (1994): *DSSAT V.3.5*. 4 tomos. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.