

POSIBLES EFECTOS DE UN CALENTAMIENTO GLOBAL EN EL CULTIVO DE ARROZ DE SECANO EN EL PACIFICO NORTE DE COSTA RICA¹

Roberto Villalobos ²/*, José A. Retana*

RESUMEN

El arroz es uno de los más importantes cultivos alimenticios en el mundo, en Costa Rica es básico. Sin embargo, deberá producirse bajo condiciones inciertas debido al calentamiento global. El 47% del área sembrada está en el Pacífico Norte, donde el 42% de la fuerza laboral trabaja en agricultura; un cambio en el clima puede acarrear problemas socioeconómicos serios. Un equipo internacional de científicos ha desarrollado un sistema de "Soporte de Decisiones para la Transferencia o Adopción de Agrotecnología" (DSSAT), el cual le permite al usuario realizar cambios climáticos para simular la respuesta del cultivo a diferentes escenarios. El objetivo de este trabajo fue simular la respuesta del cultivo de arroz de secano en el Pacífico norte de Costa Rica, ante diferentes escenarios climáticos que representan características del calentamiento global producto del efecto invernadero, con el propósito de que el análisis permita revelar y cuantificar la sensibilidad del cultivo a diferentes elementos climáticos. Los resultados obtenidos a través del DSSAT permiten inferir que existe una fuerte interacción de la temperatura sobre la duración del período siembra-floración en el cultivo de arroz, y que cambios en el clima de la región pueden modificar el patrón general de crecimiento del cultivo, lo que repercute en los rendimientos del mismo. Hay aparentemente una respuesta diferente en el cultivo, ante el aumento en temperatura, si se considera la máxima o la mínima; de modo que el uso de temperaturas promedio sería inadecuado. El DSSAT puede constituir un sistema valioso de alerta en agricultura y alimentación.

ABSTRACT

Possible effects of global warming on unirrigated rice in the North Pacific region of Costa Rica. Rice is one of the most important crops in the world, a first necessity for more than half of the human population. However, it might have to be produced under uncertain conditions due to Global Warming. In Costa Rica, the greater concentration of sowed area is in the North Pacific (47%); this region has 42% of the labor force working in agricultural activities, therefore, a change in the climate of this zone, would increase the possibility of serious socioeconomic problems. A group of international scientists has developed a "Decision Support System for Agrotechnology Transfer" (DSSAT). It is a microcomputer software that uses databases of soils, crops and climate, with application programs to simulate growth and plant development. The DSSAT allows carrying out climatic changes in order to simulate the crop response to several environments. The objective of this work was to simulate the response of rice crop on unirrigated land in the North Pacific of Costa Rica, using several climatic scenarios that represent global warming characteristics, with the purpose of analyzing and quantifying the sensibility of the crop to different climatic elements. The outputs permit to infer that a strong relationship exists between temperature and duration of the sowing-flowering period of the rice crop cycle, and that changes in the climate of the region could modify the general pattern of growth, which could reduce yields. Also, there is an apparently different response the crop to the increase in temperature when maximal or minimal temperature are considered; for this reason, references to mean temperature would not be adequate. If this is correct, the DSSAT would constitute a valuable system of alert in agriculture and food production.

1/ Recibido para publicación el 19 de mayo de 1997.

2/ Autor para correspondencia.

* Departamento de Agrometeorología, Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.

INTRODUCCION

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cultivos alimenticios más importantes en el mundo y es de primera necesidad para más de la mitad de la población humana. En Costa Rica se considera que es básico. Sin embargo, deberá producirse bajo condiciones inciertas de posibles cambios en el clima mundial debido a la actividad humana. La utilización de combustibles fósiles, la deforestación, la refrigeración de ambientes y las mismas prácticas de cultivo para la producción de arroz, han aumentado en la atmósfera la concentración de gases como el dióxido de carbono, compuestos clorofluorocarbonados, metano y óxido nitroso, los cuales contribuyen a lo que se ha dado en llamar popularmente "efecto invernadero", y como consecuencia se está produciendo un calentamiento global.

En Costa Rica, la producción de este cultivo se ubica en tres grandes regiones ecológicas: Zona Atlántica, el Pacífico Norte y el Pacífico Sur (Murillo 1984). De acuerdo con las estadísticas de la Oficina del Arroz, durante el período 1980-81 a 1991-92, el 47% del área sembrada de arroz ha estado en el Pacífico Norte (SEPSA 1993).

El Pacífico Norte presenta dos estaciones bien definidas; una época seca que se inicia en noviembre con la llegada de vientos alisios del norte, y otra lluviosa, que se inicia en mayo. El principal inconveniente es la desuniformidad de la distribución de la lluvia, pudiendo presentarse períodos de deficiencia hídrica para el cultivo. De acuerdo a los análisis realizados por Lomas y Herrera (1984), la variabilidad en la producción de arroz en esta zona, donde 42% de la población laboral se dedica a actividades agrícolas, responde a factores climáticos. Por ellos, cambios en el clima de la zona aumentarían la posibilidad de que eventualmente se produzcan severas pérdidas en la producción, con el consecuente problema socio-económico para la comunidad en general.

Un equipo internacional de científicos ha desarrollado recientemente un "Sistema de Soporte de Decisiones para la Transferencia o Adopción de Agrotecnología" (DSSAT). Es un programa para microcomputadoras que combina bases de datos de suelos, cultivos y climas, con programas de aplicación que simulan el crecimiento y desarrollo de los cultivos, permitiendo establecer estrategias de manejo y

comparar las salidas del modelo con los datos observados (IBSNAT 1989). El DSSAT contempla un sistema de "Manejo de Bases de Datos" (MDS), modelos de cultivos, análisis de estrategias y un simulador climático. Este último le permite al usuario realizar cambios climáticos para simular la respuesta del cultivo a diferentes escenarios.

El objetivo de este trabajo es simular la respuesta del cultivo de arroz de secano en el Pacífico Norte de Costa Rica, ante diferentes escenarios climáticos que representen características del calentamiento global producto del efecto invernadero, con el propósito de que el análisis permita revelar y cuantificar la sensibilidad del cultivo a los diferentes elementos climáticos utilizados por el modelo.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para correr el programa DSSAT se requiere la creación de 4 archivos de información sobre suelo, clima, cultivo y manejo del cultivo.

Archivo del clima

En el archivo del clima se utilizaron los registros diarios de precipitación (mm) y temperatura máxima y mínima (°C) correspondientes a 30 años (1964-1994) y 25 años de datos diarios de brillo solar (h) (1970-1994), utilizando las estaciones meteorológicas citadas en el Cuadro 1. Dicha información fue utilizada para validar el modelo (Villalobos y Retana, 1995).

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas utilizadas.

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Llano Grande, Liberia	10°36'	85°32'	85
Ingenio Taboga	10°22'	85°12'	10
Nicoya	10°09'	85°27'	120
La Pacífica, Cañas	10°25'	85°05'	95
Las Juntas, Abangares	10°17'	84°58'	140
Sardinal	10°31'	85°39'	46

Estos parámetros meteorológicos son importantes, dado que generalmente la marcha de los regímenes térmicos y de precipitación de un lugar pueden señalar las necesidades requeridas por un cultivo. La fotosíntesis es influenciada por varios factores, entre ellos, la concentración del CO₂ en la atmósfera, la radiación, la humedad disponible y la temperatura. Por lo tanto, la intensidad de la radiación recibida por las plantas, así como la temperatura del aire, son dos elementos del clima típicamente estudiados en el crecimiento de los cultivos (Ritchie y Nesmith 1991, Ritchie 1993).

El agua es otro elemento importante en el crecimiento de los cultivos. Si bien el elemento del clima habitualmente considerado es la precipitación, resulta más adecuado tomar en consideración la humedad del suelo, pues allí es donde se almacena el agua utilizada por las plantas. Por ser la lluvia un fenómeno discontinuo, el agua disponible en el suelo fluctúa en relación con la variación de las precipitaciones. Esto es importante, puesto que durante el ciclo del cultivo hay etapas con mayor necesidad de agua que otras; estos son los llamados períodos críticos.

Archivo de cultivo

Por no contar con toda la información fisiológica que se requiere de las variedades de arroz recomendadas en Costa Rica, y en vista que el DSSAT contiene información básica sobre algunos cultivares, se seleccionó, para efectos prácticos, la variedad CICA-8, cuyos datos estaban provistos en el sistema. Esta selección se hizo con base en la similitud entre las características de esta variedad y las características generales de las variedades de arroz recomendadas en Costa Rica para esa zona en particular (Riggioni 1993). Se ajustó el ciclo del cultivo a 120 días, simulado para ser sembrado tempranamente en junio, y cosechado en octubre.

Archivo de suelo

Se identificaron los principales grupos de suelos como: Mollisoles y Vertisoles e Inceptisoles. Presentan texturas de medias a pesadas, con moderado drenaje, alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y saturación de bases (Murillo 1984, Sáenz 1975, 1981). Por medio

de los mapas de asociación de grupos y subgrupos de suelos (Pérez et al. 1978), y los mapas de capacidad de uso del suelo (Pérez y Van Ginneken 1978), se identificó el principal tipo de suelo de la zona como un Ustrocept. De acuerdo con Vásquez (1978), este suelo correspondería con un Fluventic Ustrocept, cuyos análisis reportan un suelo de color pardo oscuro, con una profundidad promedio de 160 cm, con 7 capas de diferentes estratos, texturas que van del franco-arcillo-limoso (FAL) hasta el arcillo-limoso (AL), con una acidez (pH) entre 6.2 y 7.1.

Archivo de manejo

En cuanto a la humedad del suelo, se utilizaron los registros para diferentes profundidades que el Departamento de Agrometeorología del Instituto Meteorológico Nacional obtuvo en la zona por medición volumétrica y sonda de neutrones. No se utilizó la subrutina de riego que se encuentra presente en el modelo. La fertilización general utilizada fue la recomendada por Monge (1981).

Escenarios climáticos

Se estableció como modelo de un cambio global modificaciones en la temperatura media y en la precipitación. Se consideró que para áreas de influencia Pacífica, los rangos de variación máxima en la precipitación diaria serían de -15 y +15%, mientras que el rango de variación moderada serían de -10 y +10%. Las variaciones en la temperatura media se establecieron en +1 y +2°C, por lo que los escenarios analizados fueron los siguientes:

1. +1°C en la temperatura máxima y mínima, y +15% en la precipitación.
2. +1°C en la temperatura máxima y mínima, y +10% en la precipitación.
3. +1°C en la temperatura máxima y mínima, y -10% en la precipitación.
4. +1°C en la temperatura máxima y mínima, y -15% en la precipitación.
5. +2°C en la temperatura máxima y mínima, y +15% en la precipitación.
6. +2°C en la temperatura máxima y mínima, y +10% en la precipitación.
7. +2°C en la temperatura máxima y mínima, y -10% en la precipitación.
8. +2°C en la temperatura máxima y mínima, y -15% en la precipitación.

RESULTADOS Y DISCUSION

La comparación de las salidas obtenidas por el DSSAT para el escenario testigo con respecto a las obtenidas al modificar la temperatura y la precipitación diaria, presentan algunas variaciones importantes en la respuesta del cultivo de arroz.

Como puede observarse en la Figura 1 y el Cuadro 2, se producen reducciones en el rendimiento de arroz en todos los escenarios analizados. Sin embargo, en la Figura 1 se puede observar que los rendimientos disminuyen más bajo condiciones de temperaturas altas, que debido a las disminuciones porcentuales en la precipitación diaria.

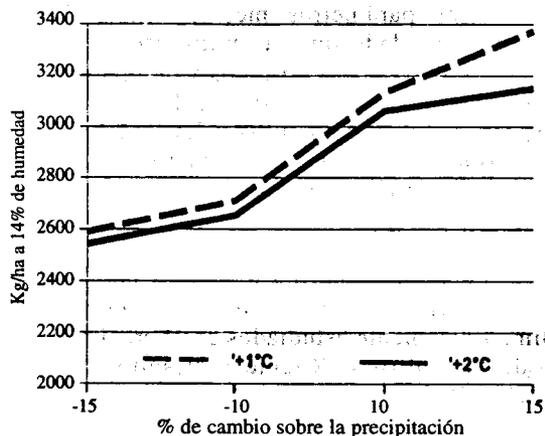


Fig. 1. Rendimiento de arroz de secano bajo los escenarios propuestos.

Cuadro 2. Sumario de respuesta del rendimiento en arroz ante diferentes escenarios climáticos.

Tratamiento	Temperaturas °C	Lluvia mm	Rendimiento kg/ha
Testigo	Observada	Observada	3685
#1	T. MIN y T. MAX +1°C	+10%	3134
#2	T. MIN y T. MAX +1°C	-10%	2710
#3	T. MIN y T. MAX +2°C	+10%	3062
#4	T. MIN y T. MAX +2°C	-10%	2653
#5	T. MIN y T. MAX +1°C	+15%	3373
#6	T. MIN y T. MAX +1°C	-15%	2589
#7	T. MIN y T. MAX +2°C	+15%	3151
#8	T. MIN y T. MAX +2°C	-15%	2543

Estos resultados están de acuerdo con lo reportado por Fergusson (1952, citado por Roberts et al. 1993), el cual reconoció que el factor más importante que afecta el tiempo a floración y a otros estados de desarrollo de las plantas, son el fotoperíodo y la temperatura. La reducción en los rendimientos se debe a que, como es de esperar, el tiempo térmico diario (grados día) se acumula más rápidamente conforme aumenta la temperatura, esto hace que se acorte el período entre la siembra y la diferenciación floral, razón por la cual, el ciclo del cultivo se acorta, tal y como puede comprobarse mediante los resultados obtenidos cuando se aislaron los efectos específicos de cada uno de

los elementos climáticos incluidos en cada escenario (Cuadro 3).

Summerfield et al. (1992) encontraron que existe alguna evidencia de interacciones entre los efectos del fotoperíodo y la temperatura sobre la duración del ciclo vegetativo de un cultivo. Como es claro, el calentamiento global no modificaría el fotoperíodo, sin embargo, los resultados obtenidos a través del DSSAT permiten inferir que aumentos en la temperatura pueden llevar a modificaciones en el patrón general del cultivo de arroz.

La comparación de estos resultados parece indicar que el efecto combinado es mayor que el correspondiente a cada uno de los parámetros

Cuadro 3. Comparación de rendimientos y duración del ciclo del cultivo de arroz de secano bajo diferentes tratamientos en la temperatura y la precipitación diaria.

# Tratamiento	Descripción *	Rendimiento (kg/ha)	Variación (%)	Ciclo (días)
1	Testigo	3 685	—	120
2	+2°C y -15%PP	2 543	-31	113
3	+2°C	3 277	-11	113
4	-15%PP	3 357	- 9	119

* +2°C= Incremento de 2°C sobre la temperatura máxima y la temperatura mínima diaria.
 -15%PP= Disminución de 15% de la precipitación diaria.

meteorológicos por sí mismo. El efecto de la temperatura sobre los rendimientos se deriva del acortamiento en el ciclo del cultivo y en el gasto energético adicional producto del proceso respiratorio. En el caso de la precipitación, si bien es cierto, una disminución de 15% sobre la precipitación diaria podría ser responsable de una reducción en los rendimientos de 9%, es difícil evaluar los cambios en la distribución de la misma, puesto que el cultivo presenta un efecto diferencial ante una deficiencia hídrica de acuerdo a su estado fenológico (Rosenthal et al. 1987).

De acuerdo con Porter et al. (1991), hay consenso entre los pronósticos de los modelos de circulación general (GISS y GCM), de que la temperatura aumentará mayormente en latitudes altas, mientras que cambios en la precipitación pueden ser posibles, pero los mismos tendrán mayor importancia en regiones donde la precipitación es un factor limitante. Además, existe una gran incertidumbre acerca de los futuros cambios en los niveles de lluvia. Considerando que los cambios en la temperatura son los más factibles, se procedió a realizar un análisis minucioso de las posibles respuestas del cultivo de arroz a este elemento climático. Estudios realizados por el Centro de Datos Climáticos de los Estados Unidos, han demostrado que la temperatura mínima está aumentando desproporcionadamente en comparación con la temperatura máxima y la media (Patz et al. 1996), lo cual coincide con los resultados encontrados por Gómez y Fernández (1996) sobre la variación interanual de la temperatura en Costa Rica. Esta tendencia podría continuar bajo escenarios de cambio climático, razón por lo que se realizó el estudio detallando la respuesta del cultivo a un

incremento diferencial entre la temperatura máxima y la mínima.

Los resultados obtenidos con los aumentos de temperatura máxima, principalmente con +1 y +2°C, muestran que la floración se adelantaría. Como ya se mencionó, este acortamiento en el período emergencia-antesis reduce el tiempo disponible por el cultivo para la formación de biomasa y los fotoasimilados, y por otra parte, aumenta el costo energético de respiración de mantenimiento; estas son las principales razones de la disminución en los rendimientos. La comparación de la biomasa del cultivo en condiciones normales (testigo) y bajo los diferentes niveles de temperatura máxima, muestra que con el aumento de la temperatura disminuye la producción de biomasa. En los casos en que la temperatura máxima se aumentó en +1 y +2°C, los rendimientos disminuyeron (Cuadro 4).

De acuerdo con Ritchie y Nesmith (1991), este efecto térmico constituye la principal causa de la disminución en los rendimientos bajo condiciones hídricas y de fertilización no limitantes. Sin embargo, esta situación puede variar cuando

Cuadro 4. Resumen de salidas del DSSAT para los diferentes niveles del tratamiento de temperatura máxima.

	Temperatura máxima		
	Testigo	+1°C	+2°C
Rendimiento (kg/ha)	3685	3257	3066
Granos/m ²	13650	12064	11357
Máximo IAF	1.30	1.25	1.21
Biomasa (kg/ha)	9602	9192	8923

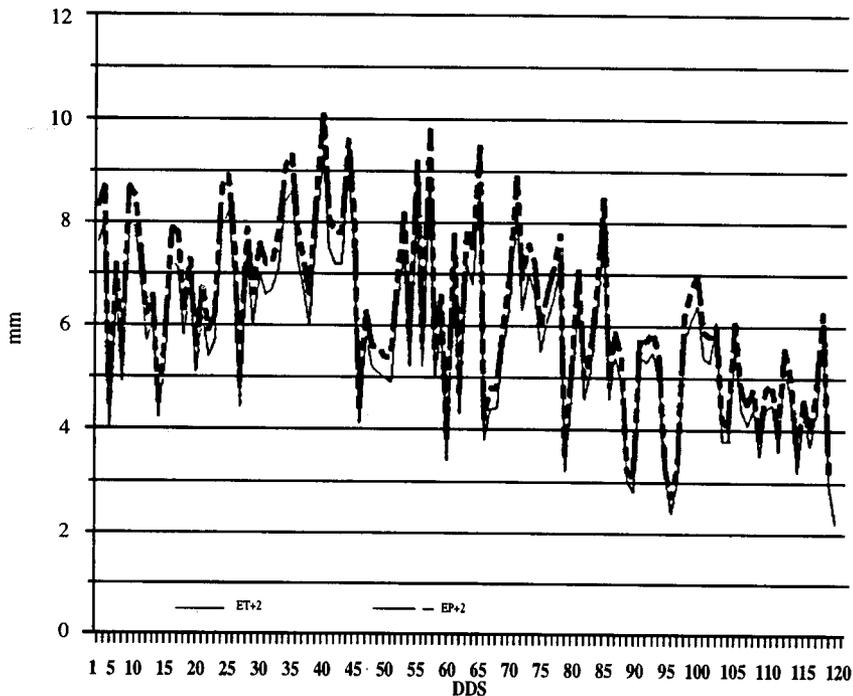


Fig. 2. EO y EO + 2°C en la temperatura máxima durante el ciclo del cultivo.

las condiciones hídricas y la fertilización no son las adecuadas. Un cultivo extensivo, con cobertura total y un buen suministro de agua, experimenta un mínimo control estomático y transpira a una proporción determinada por la demanda atmosférica. Esa proporción de agua utilizada bajo estas condiciones ambientales es la máxima, y es conocida como evapotranspiración potencial (EO). Cuando la cobertura está incompleta y la superficie del suelo está seca o cuando se restringe la disponibilidad de agua al cultivo, se produce una caída en la conductividad foliar, razón por la cual la evapotranspiración se reduce y constituye la evapotranspiración real (Loomis y Connor, 1992).

En la Figura 2 puede observarse que aumentos en la temperatura provocan incrementos en la demanda evaporativa atmosférica y por lo tanto la EO se incrementa (EO+2).

Debido a que la mayoría de los cultivos presentan una cobertura incompleta a través de una parte significativa de su ciclo de crecimiento, la estimación de las pérdidas del agua desde el suelo y desde la planta es vital para evaluar la demanda de agua para irriga-

ción. El ajuste de la evaluación de la evaporación total para un cultivo en crecimiento con poca cobertura foliar, requiere que la evaporación desde el suelo y desde el cultivo sea considerada separadamente. Cuando es necesario describir las pérdidas de agua por evaporación desde el suelo (ES) y desde las plantas (EP), como estas ocurren al mismo tiempo, el término evaporación total (ET) es utilizado y puede ser interpretado como el término más tradicional de evapotranspiración (Ritchie y Johnson 1990). Estos términos son los utilizados en el balance de agua suministrado por el DSSAT.

El sistema suelo-cultivo presenta diferentes formas para tratar de hacerle frente a ese incremento en la demanda; ésta va a depender principalmente de la demanda misma, de la humedad disponible, de la densidad y el estado de crecimiento del cultivo. Durante los primeros días después de la siembra, el cultivo tiene poco follaje (Índice de área foliar (IAF) menor a 1), razón por la cual, de existir humedad disponible en el suelo, la mayor proporción de la

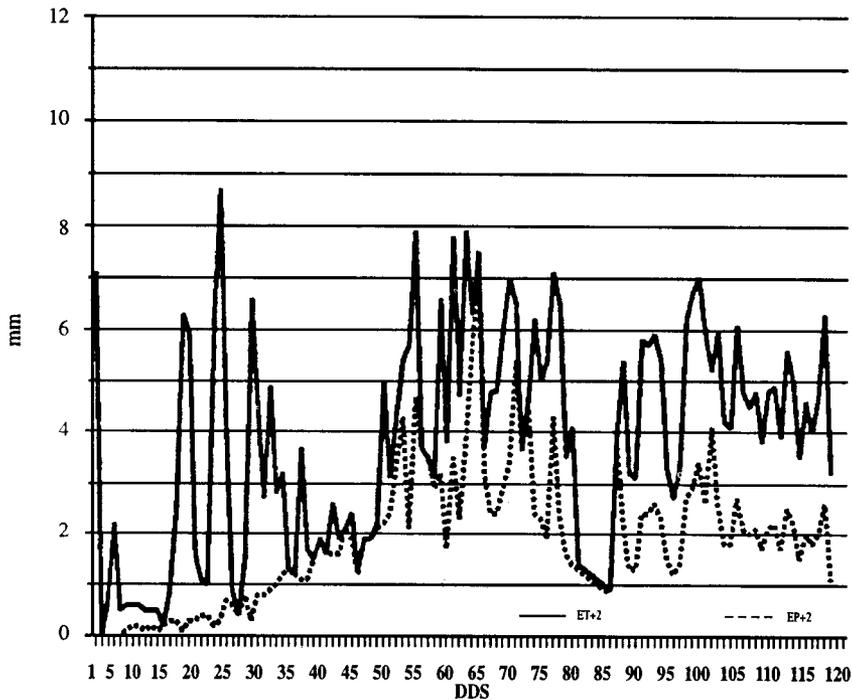


Fig. 3. ET y EP + 2°C en la temperatura máxima durante el ciclo del cultivo.

evapotranspiración (ET) le corresponderá a la evaporación del suelo (ES), tal y como se observa en la Figura 3 durante los primeros 25 días del ciclo del cultivo ($ES=ET-EP$; y ES es mayor que EP). La resistencia al flujo de vapor de agua por evaporación directa del suelo aumenta conforme las capas superiores del perfil del suelo van agotando su almacenamiento de humedad, en cuyo caso la transpiración se transforma en el mecanismo mediante el cual el sistema suelo-cultivo trata de satisfacer la demanda atmosférica, siempre y cuando el cultivo tenga agua disponible accesible al sistema radicular, de lo contrario se presentaría un déficit hídrico.

Las proporciones de energía disponible para los procesos de evaporación y transpiración se van modificando a través del ciclo del cultivo, conforme el IAF aumenta, menor será la energía disponible para evaporación, aunque la proporción que éstas alcancen dependerá de la demanda evaporativa atmosférica en un momento dado, de

la humedad disponible y del estado fenológico del cultivo.

En los casos en que se aumentó la temperatura máxima en +1 y +2°C, la Figura 3 muestra que las capas superiores contaban con humedad disponible, de manera que la mayor proporción de ET corresponde a evaporación del suelo (ES). Esto se observa fácilmente durante el inicio del ciclo del cultivo y a partir del día 85, cuando el IAF disminuye por senectud y hubo un incremento en la ET hasta igualar a la EO.

Cuando se modificó la temperatura mínima en +1 y +2°C, nuevamente el tiempo térmico diario se acumula más rápidamente que en el escenario testigo, razón por la que el ciclo del cultivo se acorta y se incrementa el costo energético por respiración de mantenimiento. Este efecto inductivo de la temperatura sobre la antesis se refleja básicamente en una menor biomasa, que resulta en una reducción de los rendimientos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resumen de salidas del DSSAT para los diferentes niveles del tratamiento de temperatura mínima.

	Testigo	Temperatura mínima	
		+1°C	+2°C
Rendimiento (kg/ha)	3685	3283	3140
Granos/m ²	13650	12156	11632
Máximo IAF	1.30	1.27	1.17
Biomasa (kg/ha)	9602	9261	9121

El análisis del balance hídrico muestra que la reducción del rendimiento por aumento en la temperatura mínima no se debe a una modificación sustancial en la demanda evaporativa atmosférica, dado que EO y EO+2 no mues-

tran diferencias sustanciales, lo que sugiere que la disminución de los rendimientos se debe a lo ya expuesto, a un acortamiento del ciclo vegetativo y al mayor costo de respiración de mantenimiento.

Cuando se aumentó la temperatura máxima y la temperatura mínima en +1 y +2°C, nuevamente la iniciación floral se adelantó y el ciclo del cultivo se acorta. Parece que se presenta un efecto entrelazado entre la inducción floral producto del aumento de temperatura y el costo energético de respiración de mantenimiento.

La Figura 4 presenta cómo la transpiración se incrementa con la temperatura, pero la proporción de la EP depende de la disponibilidad de humedad en el perfil del suelo, así como de la demanda atmosférica. Bajo condiciones de humedad superficial reducida, la mayor proporción de la EO corresponde a la EP.

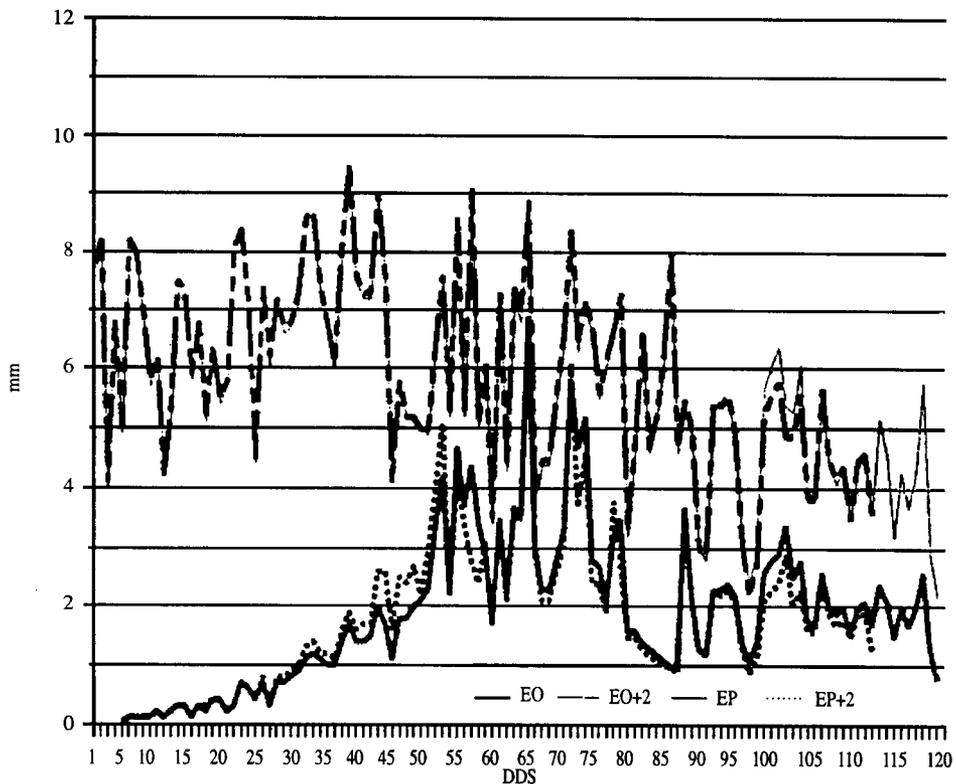


Fig. 4. EP, EP+2, EO y EO+2 para temperatura máxima y mínima.

Como se puede observar en el Cuadro 6, la tendencia general cuando se aplican estos niveles de tratamiento en la temperatura máxima y la temperatura mínima es a disminuir los rendimientos.

Cuadro 6. Resumen de salidas del DSSAT para los diferentes niveles del tratamiento de temperatura mínima y máxima.

	Testigo	Temperatura máxima	
		+1°C	+2°C
Rendimiento (kg/ha)	3685	2904	2828
Granos/m ²	13650	10757	10439
Máximo IAF	1.30	1.18	1.06
Biomasa (kg/ha)	9602	8809	8570

En la Figura 5 se puede notar que durante períodos de humedad disponibles en las primeras capas del perfil del suelo y un IAF bajo, la mayor proporción de la ET corresponde a ES.

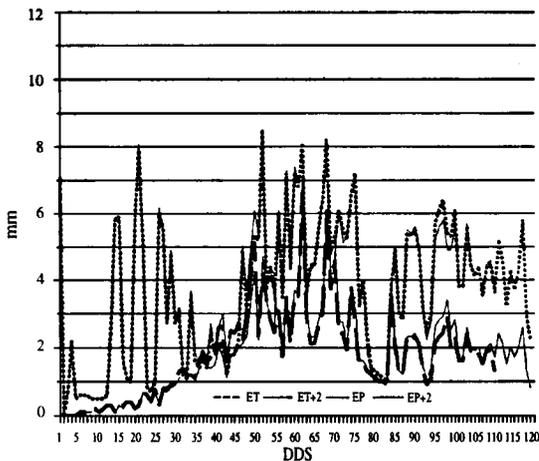


Fig. 5. EP, EP+2, ET y ET+2 para temperatura máxima y mínima.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a través del DSSAT concuerdan con algunos trabajos de investigación científica citados en el contexto, en el entendido de que existe una fuerte interacción entre la temperatura y la duración del período siembra-floración en el cultivo de arroz. La dura-

ción del ciclo vegetativo del cultivo de arroz en una determinada localidad es esencial para la cuantificación de los rendimientos potenciales.

Como el efecto invernadero está produciendo cambios en la temperatura, esto podría implicar que sería necesario modificar las fechas de siembra y posiblemente la zonificación del cultivo se vería afectada. Estas modificaciones en la distribución del cultivo lo exponen a diferentes combinaciones de efectos de fotoperíodo-temperatura, principalmente en cultivares sensibles al fotoperíodo y en regiones donde éste juega un papel relevante. Por otra parte, podría esperarse que la estructura socioeconómica de la comunidad laboral en la región analizada se modificara, dependiendo de la intensidad con que los efectos del calentamiento global se manifiesten.

El rendimiento efectivo de la precipitación se encuentra vinculado al régimen térmico, lo que hace que la lluvia en una determinada localidad deje de ser adecuada para los mismos cultivos expuestos a temperaturas más altas, aunque las condiciones restantes sean similares. Esto se debe a que el aumento de la temperatura modifica la efectividad y distribución de la precipitación. Sin embargo, no existe acuerdo sobre cuáles podrían ser los futuros niveles de cambio en la precipitación, razón por lo que el aplicar porcentajes de cambio en la precipitación diaria puede no ser la mejor forma de evaluar este elemento meteorológico, en el cual debe considerarse también su intensidad y distribución.

Existe una aparente respuesta diferencial en los rendimientos del cultivo al aumento de la temperatura cuando ésta se adjudica a la temperatura máxima o a la temperatura mínima, razón por la cual referencias a la temperatura promedio no serían adecuadas.

El sistema empleado en este análisis (DSSAT), permite suponer que aumentos en la temperatura puede modificar el patrón general de crecimiento del cultivo de arroz, lo que repercute en los rendimientos del mismo. Es ventajoso desde el punto de vista de que identifica lagunas en el conocimiento general del cultivo en particular. Puede utilizarse para el soporte de decisiones al permitir estudiar interacciones complejas, inaccesibles a otras técnicas, abriendo la posibilidad de generar aplicaciones hasta ahora no desarrolladas de las relaciones planta-ambiente, además constituye un sistema de alerta de eventos en agricultura y alimentación.

LITERATURA CITADA

- GOMEZ, I.E.; FERNANDEZ, W. 1996. Variación interanual de la temperatura en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 3(1):27-44.
- IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer). 1989. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT v2.1). Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- LOMAS, J.; HERRERA, H. 1984. Weather and rice yield relationship in Tropical Costa Rica. *Agricultural and Forest Meteorology* 35: 133-151.
- LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. 1992. Crop Ecology: Productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press. 538 p.
- MONGE, L. 1981. Cultivos Básicos. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. p 219-260.
- MURILLO, V. 1984. La producción de arroz en Costa Rica. Sesiones de Actualización y Perspectivas. VI Congreso Agronómico Nacional. San José, Costa Rica. 211 p.
- PATZ, J.A.; EPSTEIN, R.P.; BURKE, T.A.; BALBUS, J.M. 1996. Global Climate Change and Emerging Infectious Diseases. *Journal of the American Medical Association (JAMA)*:275 (3):217-223.
- PEREZ, S.; VAN GINNEKEN, P. 1978. Capacidad de uso del suelo. SEPSA. San José, Costa Rica. Láminas 1:250 000.
- PEREZ, S.; ALVARADO, A.; RAMIREZ, E. 1978. Asociación de subgrupos de suelos. SEPSA. San José, Costa Rica. Láminas escala 1:250000.
- PORTER, J.H.; PARRY, M.L.; CARTER, T.L. 1991. The potential effects of climatic change on agricultural insect pest. *Agricultural and Forest Meteorology* 57:221-240.
- RIGGIONI, L. 1993. Descripción de ocho variedades de arroz (*Oryza sativa*). Oficina Nacional de Semillas. San José, Costa Rica. 30 p.
- RITCHIE, J.T. 1993. Genetic specific data for crop modeling. *Systems Approaches for Agricultural Development*. p 77-93.
- RITCHIE, J.T.; JOHNSON, B.S. 1990. Soil and plant factors affecting evaporation. irrigation of agricultural crops. *Agronomy* 30: 363-390.
- RITCHIE, J.T.; NESMITH, D.S. 1991. Temperature and crop development. Modeling plant and soil systems. *Agronomy Series* 31:5-39.
- ROBERTS, E.; SUMMERFIELD, R.; ELLIS, R.; QI, A. 1993. Adaptation of flowering in crops to climate. *Outlook on Agriculture* 22(2): 105-110.
- ROSENTHAL, W.D.; ARKIN, G.F.; SHOUSE, P.J.; JORDAN, W.R. 1987. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. *Agronomy Journal* 79: 1019-1026.
- SAENZ, A.M. 1975. Formulario técnico de suelos tropicales. Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. Serie textos N°241. San José, Costa Rica. 396 p.
- SAENZ, A.M. 1981. Curso de tecnología y conservación de suelos. Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. Serie Agronomía N°2. San José, Costa Rica. 204 p.
- SEPSA (SECRETARIA EJECUTIVA DE PLANIFICACION SECTORIAL AGROPECUARIA). 1993. Diagnóstico del Sector Agropecuario. San José, Costa Rica. 165 p.
- SUMMERFIELD, R.; COLLINSON, S.; ELLIS, R.; ROBERTS, E.; PENNING, F. DE VRIES. 1992. Photothermal responses of flowering in rice (*Oryza sativa*). *Annals of Botany* 69: 101-112.
- VASQUEZ, A. 1978. Evaluación de los recursos de tierra y agua con fines de riego. Tomo I. Estudio detallado de suelos y clasificación de tierras de riego. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). San José, Costa Rica.
- VILLALOBOS, R.; RETANA, R.A. 1995. Validación del modelo CERES-Rice para su aplicación en Liberia, Guanacaste. Sin publicar. 4 p.