

DSSAT: UNA OPCION A LA INVESTIGACION EN AGRICULTURA

JOSE ALBERTO RETANA BARRANTES
ROBERTO VILLALOBOS FLORES

DEPARTAMENTO DE AGROMETEOROLOGIA
INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL
SAN JOSE

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. 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 modelo de simulación (CERES-Rice) utilizado por el DSSAT, ha sido diseñado para estimar los componentes de desarrollo y producción de diferentes variedades de arroz bajo ambientes tropicales y subtropicales. Se presentan los resultados obtenidos al calibrar y validar el modelo para las condiciones particulares del cantón de Liberia, en el Pacífico norte de Costa Rica. El análisis de validación del método consistió en una evaluación estadística de la comparación de los rendimientos regionales de arroz de secano observados y los estimados por el modelo. Los resultados muestran un índice de concordancia de 69%, un coeficiente de correlación entre los datos analizados de 73% y un coeficiente de determinación de 53%. También se simuló la respuesta del cultivo de arroz de secano 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. El modelo demuestra habilidad para predecir la ocurrencia fenológica, lo que provee una buena oportunidad a los arroceros de optimizar las operaciones en la finca. Además, se constituye en una herramienta valiosa de pronóstico y una ayuda en el planeamiento de la cosecha y la comercialización del producto. El análisis de los diferentes escenarios permite 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.

INTRODUCCIÓN

Las naciones, los gobiernos, la comunidad científica y las organizaciones internacionales, son conscientes de que la disponibilidad del agua potable, la seguridad alimentaria y las posibilidades de incrementos en las plagas y enfermedades, están significativamente influenciadas por las variaciones en el clima mundial.

En la pasada década, el mundo ha experimentado eventos climáticos con dramática intensidad. Inundaciones, sequías extremas y la actividad ciclónica, han resultado en tragedias humanas y pérdidas económicas.

Aunado a estas situaciones, la

sociedad humana se enfrenta a las más altas tasas de crecimiento en la población y a los cada vez más cambiantes sistemas político-económicos, con lo cual, se ha creado una urgente necesidad de revisar y desarrollar nuevos sistemas de producción.

Hay evidencia de que la actividad humana ha colaborado a que se susciten cambios climáticos de importancia. La utilización de combustibles fósiles en la industrialización y en el transporte, la minería, la desmedida deforestación, la refrigeración de ambientes, entre otros, han aumentado en la atmósfera la cantidad de gases como: el dióxido de

carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los clorofluorocarbonos (CFCs).

Modelos de simulación de la circulación general de la atmósfera (CGMs), sugieren que, debido a la acumulación de estos gases, se está produciendo un efecto invernadero que traerá como resultado un calentamiento global del planeta, lo cual puede tener consecuencias potenciales en la producción agrícola de muchas diferentes regiones del mundo (Parry *et al*, 1988). Sin embargo, existe cierta incertidumbre en las expectativas del cambio climático, en el sentido de que los investigadores no se han puesto de acuerdo sobre las proporciones que se puedan dar en los parámetros meteorológicos (Houghton *et al*, 1990).

Los avances en la utilización de computadoras, han provisto a los investigadores y científicos, la oportunidad de manejar grandes volúmenes de información, y por lo tanto, la aplicación de modelos de simulación en problemas ambientales y agrícolas, ha ido aumentando en la última década. La ventaja de los modelos, es que reducen el tiempo y los recursos humanos requeridos para los análisis complejos, como los que involucran los recursos naturales, el ambiente y la producción de cultivos. Los modelos de simulación de cultivos pueden ser utilizados por los agricultores para estrategias de manejo, por los investigadores como herramienta de trabajo que les permita conocer prioridades de investigación, por educadores como herramienta de enseñanza, ayudando a los estudiantes a entender mejor la interacción entre las plantas y el medio ambiente.

La Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), tiene muchos proyectos involucrando el desarrollo y aplicación de investigación tecnológica. El

proyecto IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer), tiene como objetivo, acelerar la transferencia agrotecnológica con base científica entre países en desarrollo, con el fin de mejorar el entendimiento de los sistemas de cultivos y proveer a los tomadores de decisiones de los medios para estimar rendimientos, utilizando modelos de simulación de cultivos, permitiendo así la formulación de estrategias de manejo a todos los niveles (IBSNAT, 1985, 1987).

En 1982, un conjunto internacional de agricultores e investigadores científicos, constituyeron un grupo de trabajo dirigido por el IBSNAT, para diseñar un Sistema de Soporte de Decisiones para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT). La amplitud del trabajo fue limitada inicialmente a diez cultivos comestibles, incluyendo cuatro cereales (maíz, arroz, sorgo y trigo); tres leguminosas de grano (frijol, maní y soya); y tres cultivos de raíz (aráceas, yuca y papa) (IBSNAT, 1988; Uehara, 1989).

Posteriormente se agregaron los modelos para mijo y cebada (IBSNAT, 1989). Recientemente se está trabajando en modelos para tomate, caña de azúcar, girasol y banano.

MATERIALES y METODOS

El DSSAT es un programa de computación designado para proveer a los usuarios del manejo apropiado de información sobre suelos, clima, cultivo y datos experimentales, con la finalidad de simular el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos propuestos. Además, el sistema le permite al usuario utilizar estrategias alternativas de manejo. Incluye un generador climático, el cual

utiliza como fuente, bases de datos históricas (Jones, 1993; Tsuji *et al*, 1994).

El modelo CERES-Rice, ha sido desarrollado para estimar las variaciones en la humedad del suelo, el crecimiento y desarrollo del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). Se ha escrito en lenguaje de programación FORTRAN y opera en computadores personales siguiendo el formato estándar de los archivos del Sistema de Soporte de Decisiones para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT), y puede utilizarse para valorar los efectos de las diferentes prácticas de manejo y las condiciones climáticas, sobre el cultivo de arroz (IBSNAT, 1994).

La validación del modelo CERES-Rice se llevó a cabo por el Departamento de Agrometeorología del Instituto Meteorológico Nacional (Villalobos y Retana, sp).

Los datos de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y media diaria, así como brillo solar para calcular radiación solar neta, fue suministrada por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Se analizó la serie climática correspondiente al período 1980-94. El análisis del año 1982 fue excluido debido a que fue un año de ocurrencia del fenómeno El Niño (ENOS), el cual provocó pérdidas cuantiosas del cultivo.

La información de suelos fue suministrada por el Departamento de Uso y Planificación de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). El tipo de suelo se identificó como un Ustropept (Pérez *et al.*, 1978; Pérez y Ginneken, 1978). Vásquez (1978) lo clasificó como un Fluventic Ustropept, el cual corresponde a un suelo de color pardo oscuro, con una profundidad promedio de 1,6 metros y siete horizontes.

La información correspondiente a variedades, fechas de siembra e

información fenológica del cultivo se obtuvieron de la Oficina Nacional de Semillas (ONS) y del MAG. La información general del manejo del cultivo y fertilización fue tomada de Monge (1981) y Murillo (1984). Se obtuvo información sobre rendimientos regionales de arroz de secano por medio del Consejo Nacional de Producción (CNP) y a través de la Secretaría Ejecutiva de Planificación del Sector Agrícola (SEPSA). El período analizado fue de 1980-94, en vista de que el análisis se circunscribió al período de utilización del mismo material genético, la variedad CR-1113, cuyas características genéticas se ajustaron a partir de la variedad CICA-8, que de acuerdo a las investigaciones realizadas por la ONS, presenta similitudes con la variedad CR-1113, la cual fue caracterizada en la Hacienda El Real S.A., ubicada en el cantón de Liberia en cuanto a días a antesis, días a madurez fisiológica, altura de la planta, resistencia al acame, longevidad foliar, hábito de crecimiento, arquitectura de la planta, desgrane de la panícula, fertilidad de las flores, peso de 100 granos y otras características generales del cultivo (Riggioni, 1993).

Para los efectos de validar el modelo se calcularon los siguientes estadísticos sugeridos por Fox (1981) y Willmott (1982): a)- El sesgo, el cual puede ser descrito por el error de apartamiento medio (MBE), que corresponde a la diferencia entre el valor medio estimado (\bar{E}) y el valor medio observado (\bar{O}).

$$MBE = n^{-1} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i) \quad (1)$$

donde:

n es el número de casos,

E_i es el valor estimado,

O_i es el valor observado,

b)- La variabilidad de (E-O) respecto de MBE (DS²), que puede ser descrita mediante:

$$DS^2 = (n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i - MBE)^2 \quad (2)$$

donde:

DS² es la varianza de la distribución de las diferencias.

c)- El promedio de las diferencias, que puede ser descrito por:

$$RMSE = \left[n^{-1} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2 \right]^{0.5} \quad (3)$$

donde:

RMSE es la raíz del cuadrado medio del error (MSE).

d)- El error absoluto medio (MAE), que se describe como:

$$MAE = n^{-1} \sum_{i=1}^n |E_i - O_i| \quad (4)$$

e)- La desviación estándar de la variable observada (DS_{E_o}).

f)- La desviación estándar de la variable estimada (DS_{E_e}).

g)- La intercepción (a) y la pendiente (b) de la ecuación de regresión de mínimos cuadrados.

$$\hat{E}_i = a + b O_i \quad (5)$$

h)- Un índice de concordancia (d) como medida descriptiva del buen ajuste del modelo.

$$d = 1 - \left[\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2 / \sum_{i=1}^n (|\hat{E}_i| + |\hat{O}_i|)^2 \right] \quad (6)$$

donde:

$$0 \leq d \leq 1$$

$$\hat{E}_i = E_i - \bar{O}$$

$$\hat{O}_i = O_i - \bar{O}$$

También es importante conocer cuánto del error es de naturaleza sistemática y cuánto no lo es. El error sistemático puede ser descrito como:

$$MSE_s = n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{E}_i - O_i)^2 \quad (7)$$

Mientras que el error no sistemático está representado por:

$$MSE_u = n^{-1} \sum_{i=1}^n (E_i - \hat{E}_i)^2 \quad (8)$$

donde $MSE = MSE_s + MSE_u$

RESULTADOS y DISCUSION

En general, se encontró un 73% de coeficiente de correlación (r), un coeficiente de determinación (r²) de 53%, que corresponde al porcentaje de las observaciones que son explicadas por el modelo, y finalmente, un índice de concordancia (d) de 69%, el cual indica que el modelo presenta un 31% de imprecisión con respecto a lo observado.

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.

La comparación de los resultados obtenidos por el DSSAT para los diferentes escenarios, permiten observar variaciones importantes en los rendimientos del cultivo de arroz.

Como puede observarse en la Figura 1 y el Cuadro 1, se producen reducciones en el rendimiento de arroz en todos los escenarios analizados, sin embargo, de 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.

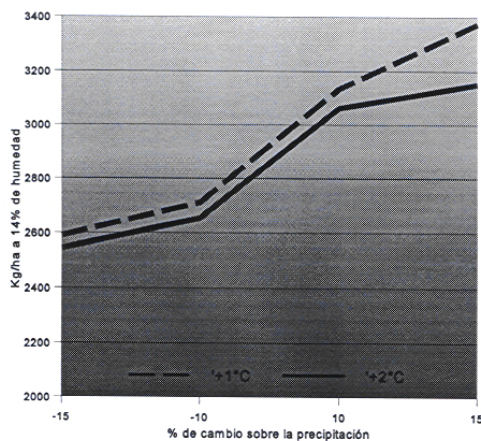


Figura 1 Rendimientos de arroz bajo diferentes escenarios climáticos.

Cuadro 1. Sumario de respuesta del rendimiento en arroz ante diferentes escenarios climáticos.

TRATAMIENTO	TEMPERATURAS °C	LLUVIA mm	RENDIMIENTO Kg/ha
TESTIGO	OBSERVADA	OBSERVADA	3 685
#1	T. MIN y T. MAX +1°C	+10%	3 134
#2	T. MIN y T. MAX +1°C	-10%	2 710
#3	T. MIN y T. MAX +2°C	+10%	3 062
#4	T. MIN y T. MAX +2°C	-10%	2 653
#5	T. MIN y T. MAX +1°C	+15%	3 373
#6	T. MIN y T. MAX +1°C	-15%	2 589
#7	T. MIN y T. MAX +2°C	+15%	3 151
#8	T. MIN y T. MAX +2°C	-15%	2 543

Esta deducción está 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 lo 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 2).

CUADRO 2. COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS Y DURACIÓN DEL CICLO DEL CULTIVO DE ARROZ DE SECANO BAJO DIFERENTES TRATAMIENTOS EN LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN DIARIA.

# Trat	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.

La comparación de estos resultados parece indicar que el efecto combinado es mayor que el correspondiente a cada uno de los parámetros meteorológicos por sí mismo. El efecto de la temperatura sobre los rendimientos se deriva principalmente del acortamiento en el ciclo del cultivo. 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 durante el ciclo del cultivo (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 producción de fotoasimilados y formación de biomasa, y por otra parte, aumenta el costo energético diario 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 niveles de temperatura máxima sugeridos, muestra que con el aumento de la temperatura disminuye la producción de biomasa (Cuadro 3).

CUADRO 3. RESUMEN DE SALIDAS DEL DSSAT PARA LOS DIFERENTES NIVELES DEL TRATAMIENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA.

	Testigo	+1°C	+2°C
Rendimiento (kg/ha)	3 685	3 257	3 066
Granos/m ²	13 650	12 064	11 357
Máximo IAF	1,30	1,25	1,21
Biomasa (Kg/ha)	9 602	9 192	8 923

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 máxima provocan incrementos en la demanda evaporativa atmosférica y por lo tanto la EO se incrementa (EO+2).

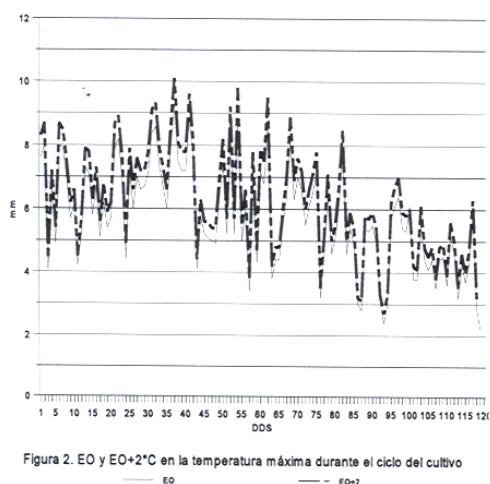


Figura 2. EO y EO+2°C en la temperatura máxima durante el ciclo del cultivo

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 irrigación. 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; esta 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 1,0), razón por lo cual, de existir humedad disponible en el suelo, la mayor proporción de la 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 estas 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, la Figura 3 muestra que bajo las condiciones particulares de

este análisis, las capas superiores contaban con humedad disponible, siendo 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 porque hubo un incremento en la ET hasta igualar a la EO.

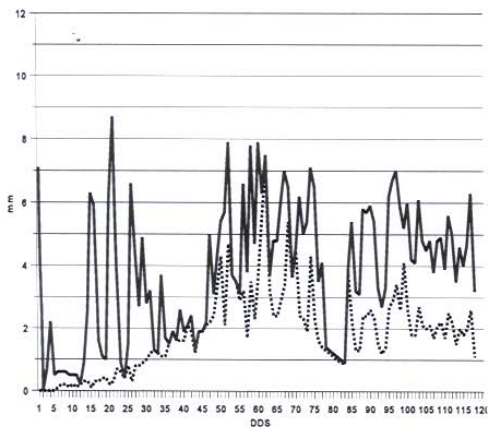


Figura 3. ET y EP + 2°C en la temperatura máxima durante el ciclo del cultivo

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. Este efecto inductivo de la temperatura sobre la antesis se refleja básicamente en una menor biomasa, y en una reducción de los rendimientos (Cuadro 4), pero el costo energético nocturno es inferior al costo energético diurno alcanzado cuando es la temperatura máxima la que se incrementa, razón por lo cual, los rendimientos son un poco superiores.

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 muestran diferencias sustanciales, lo que sugiere que la disminución de los rendimientos se debe a lo ya expuesto.

CUADRO 4. RESUMEN DE SALIDAS DEL DSSAT PARA LOS DIFERENTES NIVELES DEL TRATAMIENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA.

	Testigo	+1°C	+2°C
Rendimiento (kg/ha)	3 685	3 283	3 140
Granos/m ²	13 650	12 156	11 632
Máximo IAF	1,30	1,27	1,17
Biomasa (Kg/ha)	9 602	9 261	9 121

Cuando se analizó el efecto combinado y 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.

La Figura 4 presenta como 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.

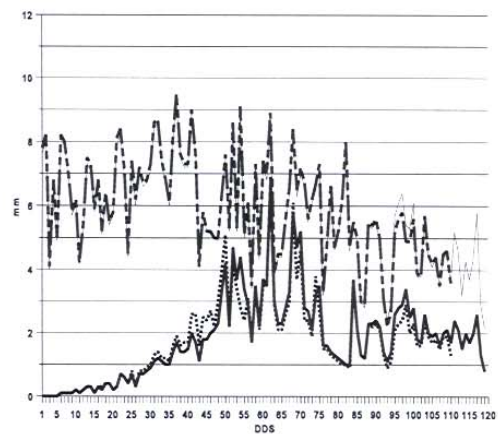


Figura 4. EP, EP+2, EO y EO+2 para Temperatura Máxima y Mínima.

Como se puede observar en el Cuadro 5, la tendencia general cuando se aplican estos niveles de tratamiento en la temperatura máxima y la temperatura mínima es también a disminuir los rendimientos.

En la Figura 5 se puede notar que también bajo estas condiciones, 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.

CUADRO 5. RESUMEN DE SALIDAS DEL DSSAT PARA LOS DIFERENTES NIVELES DEL TRATAMIENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA Y MÁXIMA.

	Testigo	+1°C	+2°C
Rendimiento (kg/ha)	3 685	2 904	2 828
Granos/m ²	13 650	10 757	10 439
Máximo IAF	1,30	1,18	1,06
Biomasa (Kg/ha)	9 602	8 809	8 570

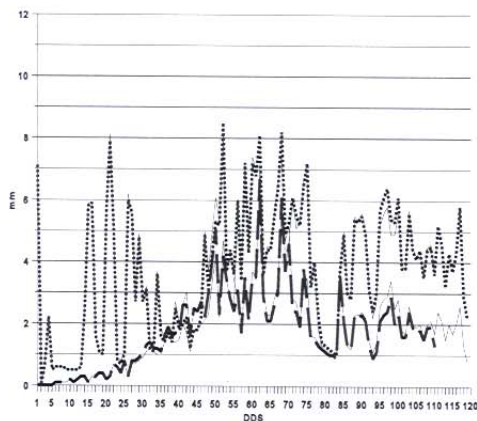


Figura 5. EP, EP+2, ET y ET+2 para Temperatura Máxima y Mínima.
 ET ——— ET+2 ——— EP ——— EP+2

CONCLUSIONES

El modelo CERES-Rice presente en el DSSAT 3.0, ha demostrado ser un modelo operacional y presenta resultados

razonables bajo una variedad de condiciones climáticas características del Pacífico norte de Costa Rica, específicamente de la región de Liberia.

El modelo tiene muchos usos potenciales, principalmente en el análisis de los componentes hidrológicos, cuya información permitirían que el sector agrícola tenga acceso a un planeamiento más preciso de actividades tan importantes como la evaluación de aplicaciones de riego donde esta posibilidad esté disponible, la programación del mejor momento para la aplicación de fertilizantes y agroquímicos, de tal manera que la humedad existente en el suelo permita que estos sean aprovechados más eficientemente por el cultivo. También puede llegar a constituirse en una herramienta valiosa en el pronóstico de cosechas, con el beneficio de poder programar planes para el mercadeo del producto, alternativas de producción y estrategias de manejo para diferentes sistemas de producción y ambientes.

Un sistema de soporte de decisiones como el DSSAT también permite acelerar la ejecución de acciones de interés agrícola, al reducir el tiempo y los recursos humanos necesarios en el análisis de decisiones complejas.

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 duración 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 expone 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 en 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 esta 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 se constituye en un sistema de alerta de eventos en agricultura y alimentación.

BIBLIOGRAFÍA

FOX, D. G. 1981. Judging Air Quality Model Performance. A summary of the AMS Workshop on Dispersion Model Performance. *Bulletin American Meteorological Society*. 62:599-609.

GÓMEZ, I. E. Y W. FERNÁNDEZ. 1996. Variación interanual de la temperatura en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 3(1):27-44.

HOUGHTON, J. T.; JENKINS, G. J.; and EPHRAMS, J. J. 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment, Workgroup 1*, WMO-UNEP. Cambridge University Press.

IBSNAT (INTERNATIONAL BENCHMARK SITES NETWORK FOR AGROTECHNOLOGY TRANSFER). 1985. IBSNAT Progress Report. University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii.

IBSNAT. 1987. A summary of IBSNAT phase II plans. University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii.

IBSNAT. 1988. 2 year Report (1985-1987). University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii.

IBSNAT. 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.

IBSNAT. 1994. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT v3.0).

- Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- JONES, J. W. 1993. Decision Support System for Agricultural Development. IN: System Approaches for Agricultural Development. 459-471 pp.
- LOOMIS, R. S. AND D. J. CONNOR. 1992. Crop Ecology: Productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press. 538p.
- 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. 211p.
- PARRY, M. L.; CARTER, T. R. and KONJIN, N. T. 1988. The impact of climatic variations on agriculture. Volume I: Assessments in cool temperature and cold regions. Earthscan Publications Ltd.
- PATZ, J. A.; P. R. EPSTEIN; T. A. BURKE AND J. M. BALBUS. 1996. Global Climate Change and Emerging Infectious Diseases. Journal of the American Medical Association (JAMA):275 (3):217-223.
- PÉREZ, S.; A. ALVARADO. Y E. RAMÍREZ. 1978. Asociación de subgrupos de suelos. SEPSA. San José, Costa Rica. Láminas escala 1:250000.
- PÉREZ, S. Y P. VAN GINNEKEN. 1978. Capacidad de uso del suelo. SEPSA. San José, Costa Rica. Láminas 1:250 000.
- PORTER, J. H.; M. L. PARRY AND T. L. CARTER. 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 pp.
- RITCHIE, J. T. AND B. S. JOHNSON. 1990. Soil and plant factors affecting evaporation. irrigation of agricultural crops. Agronomy 30: 363-390.
- ROBERTS, E.; R. SUMMERFIELD; R. ELLIS AND A. QI. 1993. Adaptation of flowering in crops to climate. Outlook on Agriculture 22(2): 105-110.
- ROSENTHAL, W. D.; G. F. ARKIN; P. J. SHOUSE AND W. R. JORDAN. 1987. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. Agronomy Journal 79: 1019-1026.
- TSUJI, G. Y.; GORO, U.; and SHARON, B. 1994. DSSAT version 3. Volumen 1. University of Hawaii. 164p.
- VÁSQUEZ, 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. Y J. A. RETANA. sp. Validación del modelo CERES-Rice para su aplicación en Liberia, Guanacaste. (En revisión para ser publicado en Agricultura Costarricense). 4p.
- UEHARA, G. 1989. Technology Transfer in the Tropics. Outlook on Agriculture 18 (1): 38-42.
- WILLMOTT, C. J. 1982. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. Bulletin American Meteorological Society. 63:1309-1313.