

Artículo original

## **Aplicación de la herramienta de modelación DSSAT para estimar la dosis óptima de fertilizante nitrogenado para la variedad de arroz J-104**

Osmel Rodríguez-González<sup>1\*</sup> 

René Florido-Bacallao<sup>1</sup> 

Mario Varela-Nualles<sup>1</sup> 

Déborah González-Viera<sup>1</sup> 

Ramsés Vázquez-Montenegro<sup>2</sup> 

Lázaro Alberto Maqueira-López<sup>3</sup> 

Rogelio Morejón-Rivera<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

<sup>2</sup>Instituto de Meteorología. Casa Blanca, Regla, Cuba. CP 11 700

<sup>3</sup>Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios". Km 1½ carretera La Francia, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. CP 22900

\* Autor para correspondencia: [osmel@inca.edu.cu](mailto:osmel@inca.edu.cu)

### **RESUMEN**

El arroz (*Oryza sativa* L.), es uno de los cereales de mayor producción a nivel mundial. Cuba es uno de los países más altos consumidores de América Latina; con valores de alrededor de 72 kg per cápita por año. Hasta el momento, la producción nacional sólo satisface el 50 % de las necesidades. A pesar de la gran cantidad de recursos que se destinan a la producción del cultivo del arroz, los rendimientos que actualmente se obtienen no satisfacen la demanda existente ni se justifican económicamente. El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de aplicar la herramienta de modelación DSSAT para estimar la dosis óptima de fertilizante nitrogenado en función del rendimiento esperado de la variedad de arroz J-104. Para calibrar el modelo se evaluaron tres experimentos, en la Unidad Científico Tecnológica de Base Los

Palacios, perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, en diferentes fechas de siembra. Para la simulación se realizaron las corridas del modelo para diferentes dosis de nitrógeno, variando las mismas desde 150 hasta 200 kg ha<sup>-1</sup>, con un intervalo de 10 kg ha<sup>-1</sup> y se mantuvieron constantes los demás parámetros del modelo. Los resultados muestran que el modelo es capaz de describir adecuadamente la dependencia de los rendimientos con el nivel de nitrógeno aplicado y la dosis recomendada para obtener los mejores rendimientos.

**Palabras clave:** calibración, modelos de simulación, rendimiento

Recibido: 07/08/2019

Aceptado: 04/03/2020

## INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.), es uno de los cereales de mayor producción a nivel mundial y conjuntamente con el trigo, la carne y el pescado, constituyen la base de la alimentación humana. El 75 % de la población mundial lo incluye en su dieta alimenticia diaria y puede superar, en algunos casos, el consumo de otros cereales <sup>(1,2)</sup>.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) informó que la producción mundial de este cereal en el año 2017 superó un 0,6 % la campaña del año anterior al alcanzar 503,9 millones de toneladas. Igualmente se prevé que la utilización mundial de arroz aumente en 1,1 %. El consumo humano debería representar la totalidad de este aumento, y permitir un incremento del consumo mundial per cápita a 53,7 kg <sup>(3)</sup>.

Cuba es uno de los países más altos consumidores de América Latina; con valores de alrededor de 72 kg per cápita por año. Hasta el momento, la producción nacional sólo satisface el 50 % de las necesidades y éstas se completan con importaciones <sup>(3)</sup>.

Nuestro país invierte cuantiosas sumas en la importación de este cereal para la alimentación humana. Los costos son cada vez más altos y, a su vez, resultan difíciles de adquirir en el mercado internacional. Es por ello que cada superficie sembrada del cultivo de arroz debe obtenerse con altos rendimientos para satisfacer las necesidades crecientes de la población con un uso eficiente y racional de los recursos.

A pesar de la gran cantidad de recursos que se destinan a la producción del cultivo, los rendimientos que actualmente se obtienen no satisfacen la demanda existente ni se justifican económicamente. En el país, los cultivares de arroz presentan un potencial de rendimiento que supera las 7,0 t ha<sup>-1</sup> (4). Sin embargo, a pesar de que en Cuba existen condiciones de clima y de suelo favorables para el crecimiento y desarrollo de este cereal, en el 2016 el rendimiento no superó las 3,7 t ha<sup>-1</sup> (5).

Al igual que en otros cultivos, el nitrógeno es el principal factor limitante en la producción de arroz. Su disponibilidad se considera esencial por ser un componente básico en todas las moléculas orgánicas involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal. Promueve el rápido crecimiento de la planta y aumenta el tamaño de las hojas, el número de espiguillas por panícula, el porcentaje de espiguillas llenas y el contenido de proteínas en el grano (6).

Hoy más que nunca, el aumento de la producción de alimentos depende de la utilización prudente del nitrógeno. Cuestiones como el cambio climático, la variabilidad del clima, el suelo y el secuestro de carbono a largo plazo, efectos en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad del medio ambiente, se han convertido en aspectos importantes.

Conocer adecuadamente la dinámica del nitrógeno en las diferentes etapas de desarrollo de la planta de arroz, para poder elaborar alternativas más económicas y de bajo impacto ambiental son aspectos de especial importancia y deben ser objeto prioritario de actualización profesional. Cada día resulta más crucial la necesidad de la información en la toma de decisiones y existe un vacío importante entre la información que se necesita y la que se genera tradicionalmente mediante la investigación disciplinaria. Para este propósito una herramienta como los modelos de simulación de cultivos es de gran utilidad.

Durante los últimos 10 años se han desarrollado modelos de simulación de base ecofisiológica para un número importante de sistemas de cultivos. Estos se distinguen de los demás modelos empíricos por su representación explícita de los procesos físicos y biológicos tales como la fotosíntesis, producción de materia seca, crecimiento del área foliar, desarrollo de la planta, ciclo de nutrientes y su balance energético (7).

Los modelos de simulación de cultivos han demostrado ser herramientas que permiten evaluar los recursos disponibles, evaluar un gran número de interacciones planta-ambiente-manejo y facilitar la toma de decisiones, cuantificando el riesgo productivo a partir de un análisis de probabilidad tomando series históricas de datos climáticos diarios y las

características de los suelos <sup>(8)</sup>. El uso exitoso del modelo de cultivo depende de la calibración adecuada de los modelos. La determinación de los coeficientes genéticos de un cultivar se puede obtener a partir de la calibración apropiada del modelo <sup>(9)</sup>. Los modelos de cultivos calibrados con parámetros de cultivar pueden utilizarse para analizar e interpretar distintos escenarios futuros debido a modificaciones que deseen proponerse en el manejo del cultivo, cambios en las condiciones climáticas o para el pronóstico de rendimiento, entre otros indicadores <sup>(10)</sup>.

DSSAT es un modelo popular de cultivo utilizado en más de 100 países durante más de 20 años <sup>(7)</sup>. Es un paquete de software para microcomputadoras, que proporciona una interfaz de modelos de simulación de cultivos-suelo, datos para el suelo, el clima, y programas para evaluar estrategias de manejo.

Por ello se plantea como objetivo de este trabajo aplicar la herramienta de modelación DSSAT para estimar la dosis óptima de fertilizante nitrogenado para el cultivo de la variedad de arroz J-104.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los modelos de cultivos tienen un principio de trabajo que va desde la calibración, pasando por la validación, hasta la simulación. Para desarrollar esta investigación se dividió el trabajo en dos etapas. La primera para realizar la calibración del modelo mediante la obtención de los valores de los coeficientes genéticos de la variedad de arroz estudiada y la segunda para efectuar las simulaciones del rendimiento al utilizar diferentes dosis de nitrógeno.

### **Calibración**

Para obtener los valores de los coeficientes genéticos de la variedad de arroz J-104 se tomaron datos de experimentos desarrollados en la Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios (UCTB-LP), perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; situada en la llanura sur de la provincia Pinar del Río (22° 44' de latitud Norte y 83° 45' de longitud Oeste, a 60 m s.n.m). Se utilizaron tres fechas de siembra correspondientes a la época de frío o poco lluviosa, que en Cuba abarca desde noviembre a febrero <sup>(11)</sup> (Tabla 1).

**Tabla 1.** Fechas de siembra utilizadas en los experimentos

No	Época de frío o seca (Noviembre-Febrero)		
	Día	Mes	Año
1	15	Enero	2004
2	2	Diciembre	2004
3	10	Febrero	2005

Fuente: Elaboración propia

Se empleó la variedad J-104, de ciclo medio, que presenta un tipo de planta índica semienana. Sus hojas son de color verde intenso, buen vigor inicial y alta capacidad de ahijamiento; se destaca por su alto potencial de rendimiento; por estas razones se convierte en la favorita de los productores.

La siembra se realizó a voleo, con una norma de 120 kg ha<sup>-1</sup> de semillas para asegurar al menos 320 plantas por m<sup>2</sup>. Se utilizaron parcelas experimentales de 64 m<sup>2</sup> de superficie y cuatro repeticiones.

Las labores fitotécnicas se realizaron según lo recomendado en el Instructivo Técnico del Cultivo del Arroz <sup>(11)</sup>. Se aseguró la disponibilidad de agua durante todo el ciclo del cultivo. El control de plagas y arvenses se realizó de manera efectiva. La fertilización se efectuó mediante la aplicación de K<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en el momento de la siembra, a razón de 60 kg ha<sup>-1</sup> de ambos; también se aplicó 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, fraccionados durante el ciclo del cultivo aplicando el 25 % del total en cada fertilización. Se utilizaron como portadores el superfosfato triple (46 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), el cloruro de potasio (60 % de K<sub>2</sub>O) y la urea (46 % de N) <sup>(11)</sup>.

### Recolección de los datos

La duración en días de las tres fases fenológicas del cultivo se evaluó en cada parcela experimental. La planta de arroz tiene tres fases vegetativas principales: la fase vegetativa, comprende los días transcurridos desde la emergencia hasta el punto de algodón; la fase reproductiva, desde el punto de algodón hasta que finaliza la etapa de antesis; y la

maduración, desde la antesis hasta la madurez del grano. Cada fase se identificó cuando más del 50 % de la parcela experimental mostró las características de estas etapas.

La determinación del rendimiento agrícola y sus componentes (número de panículas por m<sup>2</sup>, número de granos por panícula, porcentaje de granos vanos y masa de 1000 granos) se realizó en cada parcela experimental. Se tomó un área de 1 m<sup>2</sup>, con dos repeticiones en cada réplica y los valores se expresaron en t ha<sup>-1</sup>, al 14 % de humedad del grano. Para las panículas por m<sup>2</sup>, se empleó el método de conteo en un área de 0,50 m<sup>2</sup>, con cuatro repeticiones por parcela. Para el número de granos por panícula, se tomaron al azar 20 panículas; estas se desgranaron, se separaron los granos vanos de los llenos y se contaron. Para la masa de 1000 granos se tomaron dos muestras por parcela de 1000 granos llenos, que se pesaron en una balanza analítica.

### **Preparación de los ficheros de entrada**

Se crearon seis ficheros de entrada para correr el modelo CERES-Rice insertado en DSSAT v4.6: fichero X, fichero A, fichero T, fichero de suelo, fichero de clima y fichero de coeficientes genéticos.

En los ficheros A y T se almacenaron los valores de las variables fisiológicas observadas en los experimentos y, posteriormente, se compararon con los valores simulados por el modelo para la calibración.

En el fichero X se almacenaron datos de las condiciones de campo, tratamientos experimentales y opciones de simulación. La mayor parte de este fichero son los datos de manejo de la producción de cultivos, separados en varias secciones.

El suelo del área para los experimentos se clasifica como Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso Petroférrico, según la Clasificación de los Suelos de Cuba 2015 <sup>(12)</sup>.

Para la confección del fichero de clima se utilizaron los valores de las variables meteorológicas (temperaturas máximas y mínimas y precipitaciones diarias) de los meses en que se desarrollaron los experimentos, obtenidas de la Estación Meteorológica de Paso Real de San Diego, en Los Palacios, a unos 3 km aproximadamente del área experimental.

## Calibración del modelo

El modelo CERES–Rice para DSSAT necesita ser calibrado mediante la obtención de ocho coeficientes genéticos (P1, P2O, P2R, P5, G1, G2, G3 y G4). Los coeficientes P son considerados aspectos fenológicos del cultivo, como la floración y la maduración. Los coeficientes G se relacionan con el rendimiento potencial de una variedad específica <sup>(13)</sup> (Tabla 2).

**Tabla 2.** Descripción de los coeficientes genéticos de CERES-Rice

Coefficiente	Definición
P1	Grados días de calor acumulado a partir de la emergencia de las plántulas durante el cual la planta de arroz no responde a los cambios en el fotoperíodo.
P2O	Fotoperíodo crítico o la duración más larga del día en la que el desarrollo ocurre a una velocidad máxima.
P2R	Grado en que el desarrollo fásico que conduce a la iniciación de la panícula se retrasa por cada hora de incremento en el fotoperíodo por encima de P2O.
P5	Grados días de calor acumulado desde el comienzo de llenado del grano hasta la madurez fisiológica.
G1	Número de espiguillas, potencial estimado a partir del número de espiguillas por gramo de peso seco del culmo principal en antesis.
G2	Peso de un grano en condiciones ideales de cultivo, es decir, luz, agua y nutrientes no limitantes y ausencia de plagas y enfermedades.
G3	Coefficiente de ahijamiento relativo al cultivar IR64 bajo condiciones ideales.
G4	Coefficiente de tolerancia de temperatura, usualmente 1,0 para las variedades cultivadas en ambientes normales.

Fuente: Elaboración propia con información de otros autores <sup>(14)</sup>

El cálculo de los grados días de calor acumulado (GDCA) (Ecuación 1) se realizó teniendo en cuenta la duración de las fases fenológicas que alcanzó el cultivo en las diferentes fechas de siembra y los registros de temperaturas, mediante la sumatoria de los grados días de calor (GDC) <sup>(15)</sup>.

$$GDCA = \sum \frac{T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n}}{2} - T_{base} [1]$$

donde:  $T_{m\acute{a}x}$  es la temperatura máxima diaria del aire;  $T_{m\acute{i}n}$  es la temperatura mínima diaria del aire y  $T_{base}$  es la temperatura base en que el proceso de interés no se desarrolla y se tomó en este caso 9 °C.

Los coeficientes se ajustaron mediante el método manual de prueba y error hasta que se logró un  $RMSEn$  menor que 5 % entre los valores observados en los experimentos y los simulados por el modelo, en las fechas de antesis y madurez fisiológica, masa de 1000 granos y rendimiento del grano <sup>(14)</sup>.

Se calcularon además la  $RMSE$  y el índice  $d$  de acuerdo con <sup>(16)</sup>, con las siguientes ecuaciones (Ecuaciones 2, 3 y 4):

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(S_i - O_i)^2}{n}} \quad [2]$$

$$RMSEn = 100 * \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(S_i - O_i)^2}{n}}}{\overline{O}} \quad [3]$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \overline{O}| + |O_i - \overline{O}|)^2} \quad [4]$$

donde:  $S_i$  y  $O_i$  - valores simulados y observados,  $n$  es el número de observaciones;  $\overline{O}$  - media de los valores de  $O_i$ .

Es factible utilizar las ecuaciones anteriores, ya que la  $RMSE$  es una herramienta útil para probar la bondad de ajuste de modelos de simulación y representa una medida global entre los valores observados y simulados; el valor más cercano a cero indica un desempeño bueno en la simulación <sup>(17)</sup>.

La  $RMSEn$  fue usó para dar una medida porcentual de la diferencia relativa entre los valores simulados y observados en las fechas de antesis y madurez fisiológica, masa de 1000 granos y rendimiento del grano. Una simulación puede ser considerada de Excelente si el  $RMSEn$  es menor que el 10 %, Buena si se encuentra entre 10 y 20 %, Razonable si está entre 20 y 30 % y Malo si es mayor que 30 % <sup>(18)</sup>. Se plantea que debe estar próximo a uno <sup>(16)</sup>.

## Simulación

Para realizar las simulaciones se tomó el fichero del experimento realizado en enero de 2004 y se introdujo en la herramienta de análisis estacional incluida en DSSAT. El análisis de sensibilidad del rendimiento del grano a los niveles de aplicación de fertilizante nitrogenado se llevó a cabo creando seis experimentos donde se variaron las dosis del fertilizante de 150 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno con un intervalo de 10 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y se mantuvieron constantes los demás parámetros del modelo como se definieron en la calibración.

Para la simulación con las diferentes dosis de nitrógeno se seleccionaron las fases fenológicas de cuarta hoja, inicio de ahijamiento, ahijamiento activo y punto de algodón y el porcentaje de los fraccionamientos se calcularon a partir de la dosis recomendada en el Instructivo Técnico del Arroz <sup>(19)</sup> para obtener un rendimiento de 6 t ha<sup>-1</sup>.

Se realizó la corrida del modelo para obtener los valores de rendimiento del grano para estos experimentos y se compararon para determinar el mejor de ellos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calibración

Los valores de los coeficientes genéticos que determinan el crecimiento vegetativo y reproductivo para la variedad J-104 se presentan en la Tabla 3. Esto resume, cuantitativamente, cómo una variedad particular responde a los factores ambientales. Los valores determinados se encuentran en el rango de valores que se describen en el Manual de Usuario de CERES-Rice <sup>(20)</sup>.

**Tabla 3.** Valores de los coeficientes genéticos para la variedad J-104

<b>P1</b> (°C)	<b>P2O</b> (h)	<b>P2R</b> (°C)	<b>P5</b> (°C)	<b>G1</b> (espiguillas por gramo)	<b>G2</b> (g)	<b>G3</b>	<b>G4</b>
600,0	10,00	200,4	350,5	45,11	0,025	1,00	1,129

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se muestran la comparación de los valores observados y simulados, en cuanto a rendimiento de grano, masa de 1000 granos, días a la antesis y días a la maduración, así como los indicadores de bondad de ajuste del modelo. Los rendimientos del grano predichos estuvieron de acuerdo con los observados con  $RMSE = 97,66 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $d = 0,98$ . Similar comportamiento tuvieron los valores de los días a la antesis y los días a la maduración con  $RMSE = 5,32$  días y  $6,2$  días respectivamente, con  $d = 0,66$  y  $0,87$  respectivamente. Es válido resaltar que aunque  $d$  se encuentre por debajo de  $0,9$  hay autores que consideran estos valores como satisfactorios <sup>(4,14)</sup>. En todos los casos evaluados el  $RMSEn$  se comportó con valores inferiores al  $10 \%$ , lo que evidencia la excelencia de las simulaciones realizadas por el modelo.

Otros autores reportaron un valor mayor de  $RMSE$  ( $305,2 \text{ kg ha}^{-1}$ ), comparado con el obtenido en esta investigación, para el rendimiento de la variedad de arroz LP-5 en la localidad de Los Palacios, Cuba <sup>(4)</sup>. En el noroeste de la India, el  $RMSE$  absoluto, tanto para la antesis como para la madurez, fue de seis días y el índice  $d$  fue de  $0,72$  y  $0,96$  para las fechas de la antesis y la madurez, respectivamente, lo que concuerda con los resultados de esta investigación <sup>(21)</sup>.

**Tabla 4.** Indicadores de bondad de ajuste para el rendimiento, masa de 1000 granos, días a la antesis y días a la maduración fisiológica.

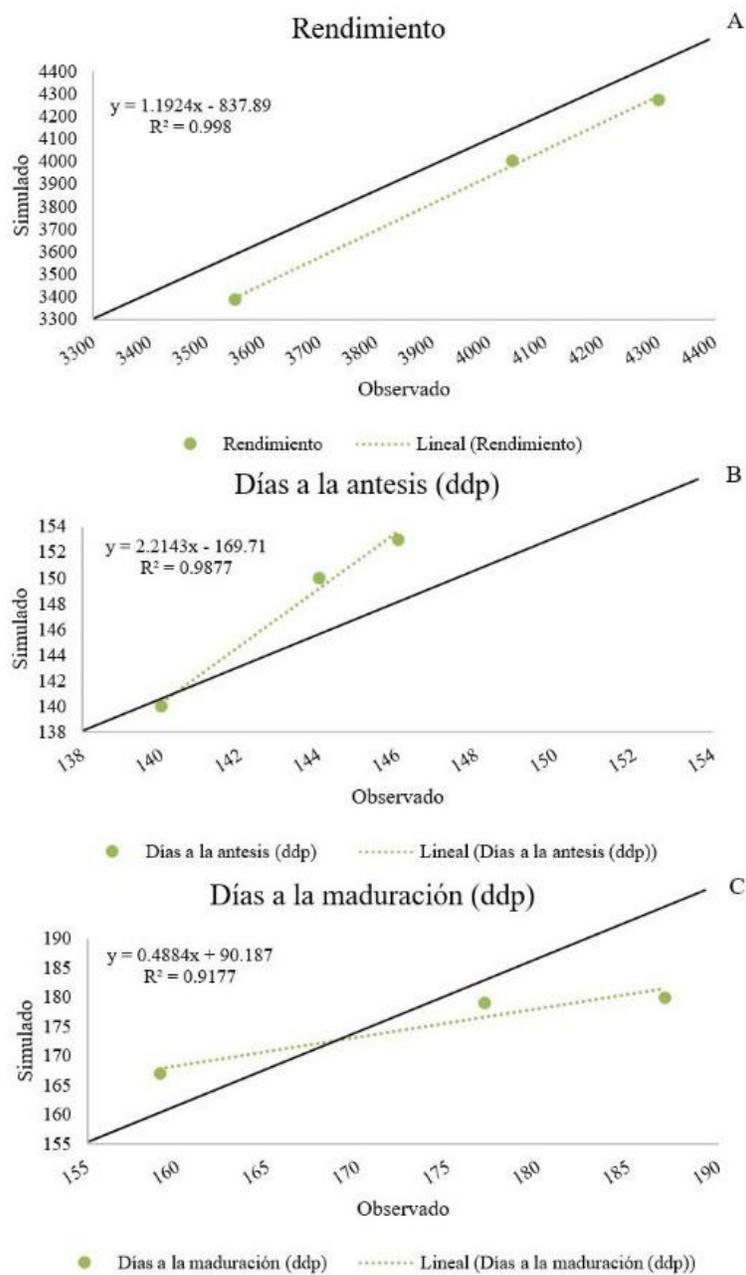
Experimento	Rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		Masa de 1000 granos (g)		Días a la antesis (ddp)		Días a la maduración (ddp)	
	<i>Oi</i>	<i>Si</i>	<i>Oi</i>	<i>Si</i>	<i>Oi</i>	<i>Si</i>	<i>Oi</i>	<i>Si</i>
Enero 2004	3550	3387	25,0	25,0	140	140	159	167
Diciembre 2004	4300	4274	25,0	25,0	144	150	177	179
Febrero 2005	4042	4005	25,0	25,0	146	153	187	180
<b>RMSE</b>		97,663		0		5,323		6,245
<b>RMSEn (%)</b>		2,46		0		3,71		3,58
<b>D</b>		0,98		-		0,66		0,871

*Si* valores simulados y *Oi* – valores observados

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de los valores observados y simulados en la recta (1:1) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Se puede apreciar que los modelos son de buen ajuste pues  $R^2 > 90\%$  en todos los casos, lo que igualmente ratifica que los valores predichos son muy similares a los observados.

De manera general, el modelo subestimó el rendimiento medio obtenido y sobreestimó los valores observados para días a la antesis y días a la maduración. Estas diferencias en las estimaciones promedio de los parámetros estudiados son bastante pequeñas y también respaldan las buenas métricas estadísticas presentadas en este estudio.



ddp: días después de plantados

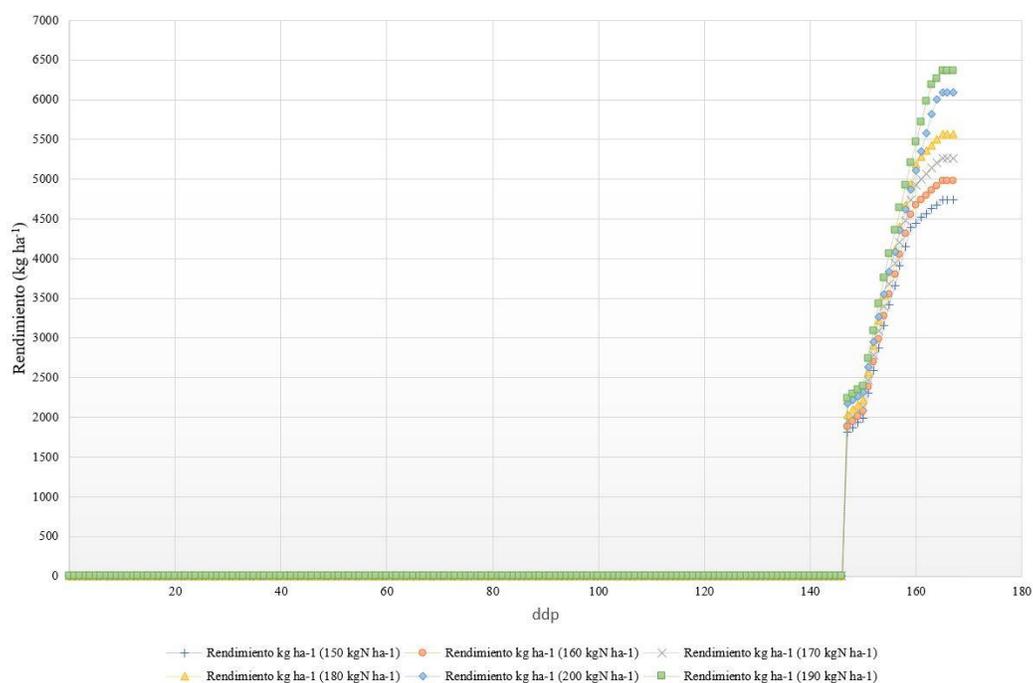
Fuente: Elaboración propia

**Figura 1.** Comportamiento de los valores observados y simulados para rendimiento (a), días a la antesis (b) y días a la maduración (c)

Por lo tanto, los resultados de este estudio sugieren que el modelo DSSAT puede usarse para calcular los coeficientes genéticos con un grado considerable de precisión para modelar el rendimiento de la variedad de arroz J-104, en la época poco lluviosa, y sus componentes fisiológicos en Cuba.

## Simulación

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del rendimiento del arroz variedad J-104 para las seis dosis de nitrógeno utilizadas en las simulaciones. El mayor valor de rendimiento se obtuvo para la dosis de 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno con 6363 kg ha<sup>-1</sup>, logrando una eficiencia de 31,8 kg de arroz por kg de nitrógeno aplicado. Este rendimiento fue superior en 1627 kg ha<sup>-1</sup> a la variante de 150 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, que alcanzó el rendimiento más bajo.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 2.** Rendimiento simulado para las distintas dosis de nitrógeno

Estudios realizados demuestran que el nivel de nitrógeno influye de manera significativa sobre el rendimiento agrícola y sus componentes, ya que las variedades IACuba28 y J-104 manifestaron la mayor respuesta con el máximo nivel aplicado, 140 y 180 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno en las campañas húmeda y seca, respectivamente <sup>(22)</sup>. También se ha reportado una

dosis óptima de 225 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno al ajustar un modelo cuadrático, variando las dosis de 0 hasta 300 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno <sup>(6)</sup>.

## CONCLUSIONES

- La obtención de los coeficientes genéticos de la variedad de arroz J-104 permitió establecer que el modelo DSSAT puede usarse para modelar el rendimiento del arroz y sus componentes fisiológicos en las condiciones de Cuba.
- El modelo es capaz de describir adecuadamente la dependencia de los rendimientos con el nivel de nitrógeno aplicado; obteniéndose el mayor rendimiento al utilizar la dosis de 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Méndez P. infoarroz.org [Internet]. 2018 [cited 24/03/2020]. Available from: <http://www.infoarroz.org/portal/es/index.php>
2. Maqueira LA, Roján O, Torres K, Duque D, Torres W. Duración de las fases fenológicas, su influencia en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.). Cultivos Tropicales. 2018;39(1):68–73.
3. FAO. Seguimiento del mercado del arroz de la FAO. Vol. XXI. 2018.
4. Hernández Córdova N, Soto Carreño F, Florido Bacallao R, Plana Llerena R, Caballero Núñez A, Maqueira López LA, et al. Utilización de un modelo de simulación para la predicción del comportamiento de algunos cereales en las condiciones de Cuba. Cultivos Tropicales. 2016;37(1):78–84.
5. ONEI. Capítulo 9: Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Vol. 37. 2017. 7 p.
6. Guzmán R, Vedia A, Maquera L, Hee Baek E, López A, Vales M. Respuesta del cultivo de Arroz de Secano (*Oryza sativa* L.) a diferentes niveles de fertilización nitrogenada, Municipio de Yapacani, departamento de Santa Cruz, verano 2015/16. Revista científica de investigación INFO-INIAF. 2016;1(7):54–9.
7. Jones JW, Hoogenboom G, Porter CH, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA, et al. The DSSAT cropping system model. European journal of agronomy. 2003;18(3–4):235–65.
8. Hernández N, Soto F, Caballero A. Modelos de simulación de cultivos: Características y usos. Cultivos Tropicales. 2009;30(1):00–00.

9. Choudhury AK, Ishtiaque S, Sen R, Jahan M, Akhter S, Ahmed F, et al. “Calibration and Validation of DSSAT Model for Simulating Wheat Yield in Bangladesh.” *Haya: The Saudi Journal of Life Sciences*. 2018;3(4):356–64.
10. Rodríguez-González O, Florido-Bacallao R, Varela-Nualles M. Aplicaciones de la modelación matemática y la simulación de cultivos agrícolas en Cuba. *Cultivos Tropicales*. 2018;39(1):7.
11. MINAG, IIG, JICA. Instructivo técnico cultivo de arroz, edit. Instituto de Investigaciones del Arroz, La Habana. 2001. 82 p.
12. Hernández A, Pérez J, Bosch D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Ediciones INCA: Mayabeque, Cuba, 2015.
13. Satapathy SS, Swain DK, Herath S. Field experiments and simulation to evaluate rice cultivar adaptation to elevated carbon dioxide and temperature in sub-tropical India. *European Journal of Agronomy*. 2014;54:21–33.
14. Lamsal A, Amgai LP, Giri A. Modeling the sensitivity of CERES-Rice model: An experience of Nepal. *Agronomy Journal of Nepal*. 2013;3:11–22.
15. Maqueira López LA, Torres de la Nova W, Pérez Mesa SA, Díaz Paez D, Roján Herrera O. Influencia de la temperatura ambiental y la fecha de siembra sobre la duración de las fases fenológicas en cuatro cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*. 2016;37(1):65–70.
16. Willmott CJ. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1982;63(11):1309–13.
17. Ray M, Roul PK, Baliarsingh A. Application of dssat crop simulation model to estimate rice yield in Keonjhar district of Odisha (India) under changing climatic conditions. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. 2018;7(4):659–67.
18. Raes D, Steduto P, Hsiao TC, Fereres E. Chapter 2—Users guide. Reference Manual: AquaCrop, Version. 2018;4:1–164.
19. Instructivo Técnico Cultivo de Arroz [Internet]. 2014 [cited 24/3/2020]. Available from: <https://isbn.cloud/en/9789597210863/instructivo-tecnico-cultivo-de-arroz/>
20. Singh U, Ritchie JT, Godwin DC. A User’s Guide to CERES Rice, V2. 10. International Fertilizer Development Center Muscle Shoals; 1993.

21. Timsina J, Singh U, Singh Y, Lansigan FP. Addressing sustainability of rice-wheat systems: testing and. In: Proceedings of the International Rice Research Conference. 1995. p. 17.
22. Peña LR, Ávila J, Peña R. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento agrícola y sus componentes de las variedades de arroz IACuba 28 y J 104. Revista Cubana del Arroz. 2001;3(1):43–50.