

## Valoración de estrategias de riego para el cultivo de la soya usando el modelo DSSAT-CROPGRO

### Evaluation of irrigation strategies for soybean cultivation using the DSSAT-CROPGRO model



<http://opn.to/a/m9B20>

Ing. Leynier Tuero Suárez<sup>✉</sup>, M.Sc. Jorge Días Suárez, Dr.C. Jorge García Coronado,  
Ing. Saray Gómez O'farrill

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN.** En la actualidad, la producción nacional de soya a gran escala tiene una importancia estratégica para el desarrollo sostenible del país. Sin embargo, el agua es el principal recurso limitante, por lo que resulta imprescindible el desarrollo de estrategias de riego que permitan una máxima productividad del agua. En este trabajo se utiliza la herramienta de simulación de cultivos DSSAT para determinar la fecha óptima de siembra para la soya, variedad Júpiter, en el Sur de Mayabeque. Además, se estudia mediante el modelo DSSAT-CROPGRO-Soya, el efecto sobre los rendimientos de varias estrategias de riego, se aplicaron varias láminas de riego: 5 mm, 10 mm, 15 mm y 20 mm, variando en todos los casos el contenido de agua al cual comienza un nuevo riego: 85%, 75%, 65%, y 55% de la capacidad de campo, para la capa comprendida entre 0 - 40 cm de profundidad. Después de simulados los experimentos virtuales y analizados los resultados obtenidos se escogió como fecha óptima de siembra el 15 de julio y como mejor estrategia de riego la que aplica 10 mm de agua al 85% de la capacidad de campo.

**Palabras clave:** variedad Júpiter, fecha de siembra, perfil de suelo, clima.

**ABSTRACT.** Currently, large-scale national soybean production is an important strategic for the sustainable development of the country. However, water is the main limiting resource, then it is essential to develop irrigation strategies that allow maximum water productivity. In this work, the DSSAT crop simulation tool is used to determine the optimal planting date for soybeans, Jupiter cultivar, in the South of Mayabeque. In addition, through the DSSAT-CROPGROW-Soybean model, the effect of several irrigation strategies on the yields is studied. Four levels of irrigation amounts: 5 mm, 10 mm, 15 mm and 20 mm were applied, varying in all cases the content of water to which a new irrigation starts: 85%, 75%, 65%, and 55% of the field capacity, for the layer between 0 - 40 cm deep. After simulated the virtual experiments and analyzed the results obtained, it was chosen as the optimum planting date July 15th and as the best irrigation strategy the one that applies 10 mm of water to 85% of the field capacity.

**Keywords:** Jupiter cultivar, planting date, soil profile, wheatear.

<sup>✉</sup> Autor para correspondencia: Leynier Tuero Suárez. E-mail: [leynierts@unah.edu.cu](mailto:leynierts@unah.edu.cu)

Recibido: 11/09/2017

Aceptado: 11/06/2018

## INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos es uno de los grandes desafíos de la agricultura a nivel mundial. Tales propósitos están indisolublemente ligados al empleo y desarrollo de las tecnologías en el campo de la Ingeniería Agrícola. Las ventajas del empleo de dichas herramientas es la de aligerar la producción y mejorar las técnicas de cultivo. A ello se añade que en la actualidad el uso combinado de modelos de simulación junto a técnicas de sensores remotos y sistemas de información geográfica están consideradas herramientas indispensables para el avance científico de esta rama. Dentro de los modelos de simulación de cultivos se destaca el universalmente difundido DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), el cual permite modelar la dinámica del cultivo a partir de la relación suelo-agua-atmósfera.

La soja es un cultivo económicamente importante que se siembra en una amplia gama de condiciones ambientales en todo el mundo (Hernández *et al.*, 2015). Desde muy temprano su uso en Cuba se dirigió fundamentalmente a la extracción de aceite y a la alimentación de diferentes especies de animales. Por otra parte, el agua cumple una función crucial en la vida de las plantas (Martínez, 2013). La deficiencia de agua es generalmente la limitante más importante en la producción de semilla de soja. Por tal motivo, este trabajo tiene como objetivos fundamentales obtener la fecha óptima de siembra y evaluar diferentes estrategias de riego, para la variedad de soja Júpiter, bajo las condiciones de suelo y clima del Sur de la provincia Mayabeque, aplicando la herramienta DSSAT especialmente su módulo CROPGRO.

## MÉTODOS

### Área de Estudio

Los experimentos desarrollados de manera virtuales fueron realizados con los datos agroclimáticos de los terrenos cercanos a los límites entre el asentamiento de Pedrín Troya y la UEB Héctor Molina Riaño, pertenecientes a la CPA Cuba-Nicaragua, del municipio de San Nicolás ubicada entre los 22°46'55"N y 81°54'25"O.

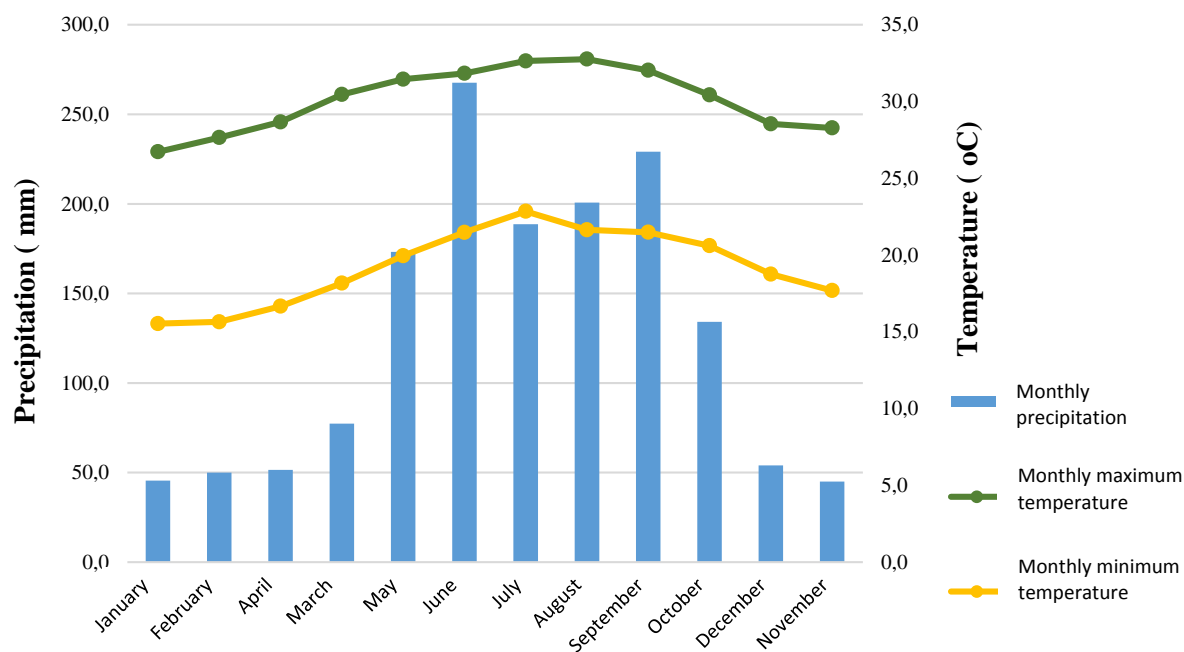
**Características Edáficas.** El suelo fue clasificado como Ferralítico Amarillento gléyi acorde con la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999). Todos los horizontes del perfil tienen una textura arcillosa, con un contenido de arcilla en torno al 76,4% en el primer horizonte, que llega hasta los 40 cm de profundidad y en torno al 85% en los horizontes restantes hasta 110 cm.

El pH del suelo es próximo a 7,4 (neutro), condición óptima para el desarrollo y la asimilación de nutrientes en la mayoría de los cultivos según (Andrades y Martínez, 2014). La parcela tiene una topografía plana, con pendiente de aproximación al 1% en dirección sudeste. Los valores de pH, materia orgánica, fueron extraídos del estudio realizado por Courly (2001), y están recogidos en la [Tabla 1](#).

**TABLA 1.** Principales características del perfil de suelo

| Level | Deep (cm) | Clay (%) | Silt (%) | Stone (%) | pH H <sub>2</sub> O | pH KCl | Organic matter (%) | CaCO <sub>3</sub> (%) |
|-------|-----------|----------|----------|-----------|---------------------|--------|--------------------|-----------------------|
| A     | 0-40      | 76,40    | 16,90    | 6,70      | 7,00                | 6,10   | 2,42               | 0,80                  |
| B     | 40-90     | 88,20    | 8,30     | 3,40      | 7,60                | 6,70   | 0,43               | 0,53                  |
| C     | 90-130    | 83,90    | 11,30    | 4,80      | 7,50                | 6,40   | 0,31               | 0,80                  |

**Características climáticas.** En la caracterización del área se utilizó un serie de datos meteorológicos de 30 años, comprendidos entre 1986 y 2016, provenientes de la Estación Climática de Güines ubicada en los 22°50'51"N 82°01'25"O; a 16 km al noroeste del área. Entre estas se destacan la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. Además, es necesario para este estudio los valores diarios de radiación solar, la cual fue obtenida del sitio web oficial de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA) debido a que la misma no es medida en la Estación Climática de Güines. Los valores promedios mensuales de las variables climáticas de la estación se observan en la [Figura 1](#).



**FIGURA 1.** Comportamiento promedio mensual de las variables meteorológicas en el sur de Mayabeque durante 1986-2016, según la estación climática de Güines.

### Modelo DSSAT-CROPGRO

El sistema de ayuda en la toma de decisiones para la transferencia agro-tecnológica (DSSAT) ([Jones et al., 2003](#); [Hoogenboom et al., 2015](#)), simula el crecimiento de dieciséis cultivos, incluidos siete leguminosas de grano, permitiendo incluir los datos de suelo y clima del área de estudio. Por otra parte, en DSSAT existen varias herramientas que brindan grandes potencialidades, entre las que destacan: realizar simulaciones en uno o varios años consecutivos, hacer análisis de sensibilidad, evaluar diferentes estrategias de riego ([Attia et al. \(2016\)](#)), y fertilización ([Arshad et al. \(2017\)](#)), así como evaluar el efecto del cambio climático ([Ngwira et al., 2014](#)).

Dentro de este software se encuentra el módulo CROPGRO ([Boote et al. \(2013\)](#)), el cual simula la dinámica del cultivo considerando el balance carbono, el crecimiento, el balance de nitrógeno en el suelo y el balance de agua en el suelo. En el mismo se destaca el modelo SOYGRO que simula el crecimiento de la soja y es altamente usado ([Ortiz, 2013](#)).

### Selección de la variedad de Soya

De las múltiples variedades de cultivo de soya que actualmente son sembradas en Cuba, se seleccionó para el ensayo el clon Júpiter, por poseer caracteres significativos con respecto a los demás clones. Según [Romero et al. \(2013\)](#), alcanza gran altura la planta en las primeras dos semanas de germinación, así como en los primeros dos meses de su ciclo vegetativo, siendo este un requisito fundamental, ya que propicia la cosecha mecanizada.

Es también significativo que dentro del propio estudio realizado por [Romero et al. \(2013\)](#), se obtiene, que esta variedad comparada con otras seis, alcanza los mayores rendimientos en la siembra de noviembre y marzo. Además, el clon Júpiter figura como una de las 25 variedades de cultivo que se encuentran calibradas en el módulo de soya del modelo de simulación de cultivo DSSAT.

### Obtención de la fecha óptima de siembra

En la [Figura 2a](#) se muestra el diagrama utilizado en el diseño de la metodología para obtener la fecha óptima de siembra. Inicialmente son introducidos en el DSSAT los datos de la estación climática y el perfil de suelo correspondientes al área de estudio. Con el objetivo de evaluar diferentes fechas de siembras, se cambia este parámetro desde el primero de enero hasta el quince de diciembre manteniendo un intervalo de 15 días entre cada fecha de siembra, lo que conlleva a sembrar los días 1 y 15 de cada mes obteniendo como resultado un total de 24 fechas de siembras. Para lograr lo anterior se mantienen igual la estación climática, el perfil de suelo, la variedad de cultivo y las condiciones iniciales; solamente variando las fechas de siembras se obtienen un total de 24 tratamientos.

Se diseñaron dos experimentos: uno en condiciones potenciales, en el cual no se simula el efecto del déficit de agua sobre el cultivo y otro en condiciones de secano, donde si se considera el efecto de la necesidad de agua sobre el cultivo y además no se aplica riego, solo se concedieran las precipitaciones. Estos experimentos virtuales son simulados de forma consecutiva desde 1986 hasta 2015, un total de 29 años en función de los datos de clima con los que se cuenta en la investigación. Esta metodología permitirá seleccionar cuales son las fechas de siembra de los tratamientos con mejores respuestas, principalmente los rendimientos.

### Implementación de estrategias de riego

El diagrama de la metodología para evaluar estrategias de riego se observa en la [Figura 2b](#), según se muestra se mantiene igual para todos los tratamientos la estación climática, la variedad de cultivo, el perfil de suelo y las mismas condiciones iniciales, además se añade la fecha óptima de siembra la cual fue determinada anteriormente. En este caso, se varía la lámina de riego aplicada siendo 5 mm, 10 mm, 15 mm y 20 mm los valores utilizados, pues ([González et al., 2014](#)), demostraron la dependencia que existe, para 14 cultivos, entre ellos la soya, de los rendimientos en función del agua aplicada. Para cada una de estas láminas, se establecen cuatro momentos para comenzar el riego en función del porcentaje de agua disponible de la capacidad de campo, 85%, 75%, 65% y 55%. El resultado de combinar los posibles valores de la lámina de riego con el porcentaje de la capacidad de campo es un experimento con 16 tratamientos, donde cada tratamiento representa una estrategia de riego diferente.

Este experimento virtual es simulado de forma consecutiva desde 1986 hasta 2015, un total de 29 años en función de los datos de clima con los que se cuenta en la investigación. Esta metodología permitirá seleccionar cuál es la mejor estrategia de riego teniendo como criterios los rendimientos, el total de agua regada y la cantidad de riegos realizados.

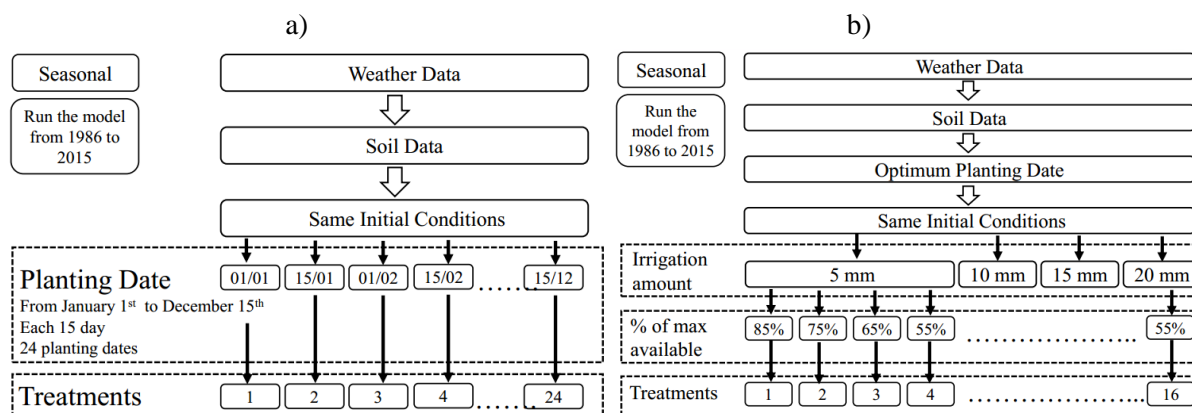


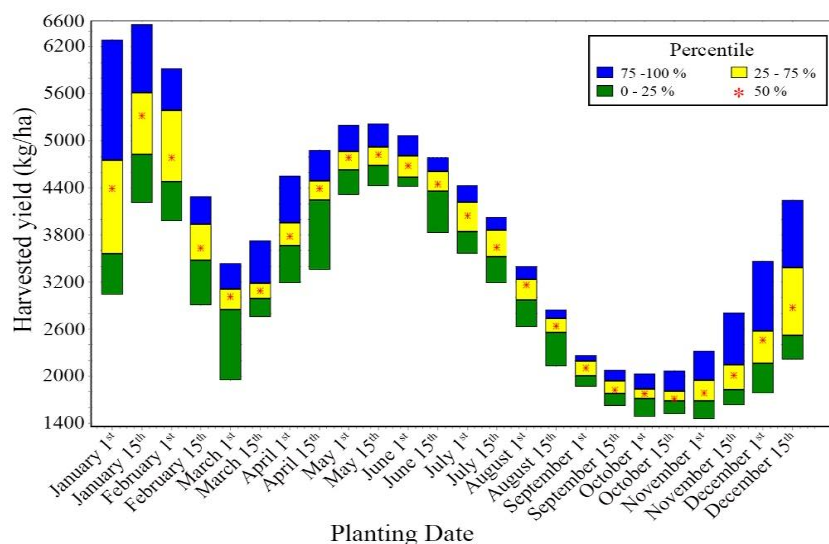
FIGURA 2. Metodologías para, a) obtener la fecha óptima de siembra y b) evaluar estrategias de riego.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fecha óptima de siembra

Condiciones potenciales. Después de simular el experimento en condiciones potenciales, de la variedad Júpiter para 24 variantes de fechas de siembra, con el CROPGROP, módulo de DSSAT, se identificaron varios resultados de gran interés. En la [Figura 3](#) se puede observar que los mayores valores potenciales se obtuvieron para fechas de siembra manejadas en el mes de enero, donde el 100 % de los rendimientos simulados se sitúan por encima de las 3000 kg/ha, situándose el valor más elevado para este mes alrededor de las 6500 kg/ha. Entre dichos valores se distinguen los correspondiente a la segunda de estas fechas, 15 de enero, obteniéndose que todos los valores simulados son superiores a 4200 kg/ha, el 75 % entre esta cota y 5600 kg/ha y el 25% de los rendimientos más altos por encima de 5600 kg/ha.

Por su parte, los más bajos valores varían desde 1500 kg/ha hasta 2000 kg/ha y se corresponden al mes de octubre. Luego de este periodo se inicia un manifiesto crecimiento de los rendimientos con posterioridad al mes de noviembre. Excepcuándose las fechas de incios de año, los resultados son valores permisibles en el cultivo de la soya una vez que [Romero et al. \(2013\)](#), para suelo Fersialítico Pardo Rojizo lixiviado con aplicación de dos riegos por semana y fertilización con fórmula completa en el momento de la siembra obtienen que esta variedad, comparado con otras seis, alcanza los mayores rendimientos de 2110 kg/ha en la siembra entre noviembre y marzo.



**FIGURA 3.** Comportamiento obtenido del rendimiento potencial en DSSAT para diferentes fechas de siembra de la soya variedad Júpiter.

El cultivo de dicha oleaginosa es exitoso en climas con veranos cálidos y condiciones óptimas de crecimiento a temperaturas medias de 20 °C a 30 °C según (Rosas y Young, 1996), coincidiendo en este sentido, con (Díaz *et al.*, 2007) que además plantearon que las más próximas a 30 °C son las ideales para su desarrollo. Los rendimientos favorables de esta variedad en el mes de enero pudieron deberse a que las temperaturas tuvieron una media de 26, 7 °C, la cual resulta óptima para el desarrollo del cultivo. Lo mismo no se aprecia según la [Figura 1](#) para los meses inherentes a fechas intermedias de siembra.

En el bajo rendimiento del mes de octubre se conjugan relativamente bajas radiaciones y altas temperaturas, pues únicamente durante el mes de octubre se registró una situación de menor radiación solar en relación al resto de la serie de datos disponible. A nivel de cultivo, esta menor radiación tiene consecuencias en el rendimiento potencial de dicho mes. En este sentido, según (Andrade *et al.*, 2000), es determinante en el rendimiento la cantidad de radiación incidente, así como la que es capaz de ser interceptado por el follaje.

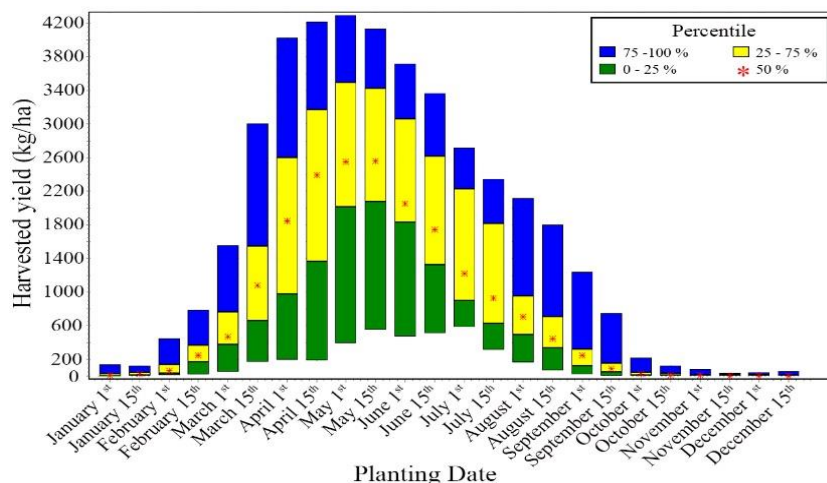
Otra variable importante a considerar son los días para la cosecha, los cuales tienen un alto grado de variabilidad en el mes de enero siendo su valor mínimo 125 días y su valor máximo 180 días, lo cual no concuerda con lo referido en la literatura. Según (Hernández *et al.*, 2015), la variedad de soya Júpiter tiene un ciclo de 110 días, lo cual está en correspondencia con lo planteado por (Romero *et al.*, 2013).

Por lo antes citado, en relación a los valores históricos de las variables climáticas, el peso de los granos de soya y sus rendimientos, enero es el mes donde las potenciales del cultivo alcanzaron los más elevados valores respecto al resto, pero existe en este una alta variabilidad en los días para la cosecha y sus valores son considerablemente altos con respecto a los referidos en la literatura por lo que no se puede establecer este mes como la fecha óptima de siembra. Teniendo en cuenta los días para la cosecha como criterio fundamental, la fecha óptima de siembra para la variedad de soya Júpiter debe estar en los meses de julio y agosto para condiciones potenciales.

Condiciones de secano. Este experimento virtual simulado persigue el mismo propósito anterior, pero difiere en cuanto a manejos, esencialmente en relación al suministro de agua al cultivo. En este, en particular, fue solo considerado el agua de las precipitaciones y su influencia en los rendimientos para similares fechas de siembra.

Los rendimientos que anteriormente eran superiores en fechas de siembra de enero, en este experimento al tener en cuenta las precipitaciones diarias históricas por 29 años, muestran para esta fecha una disminución significativa, al punto de no superar los 200 kg/ha como se aprecia de la [Figura 4](#). Algo similar se constata para la siembra del cultivo a finales de año.

En esta simulación el pico de rendimientos se localiza entre fechas de abril a junio coincidente con el periodo de mayores aportes del agua de lluvia, lo cual reafirma lo planteado por (Merino (2006), que en las condiciones de Cuba el cultivo de la soya presenta un desarrollo productivo favorable en siembra de primavera, mientras que (Díaz (1979) señaló los períodos de abril a mayo, puesto que coincide con el inicio de las intensas precipitaciones y la elevación de las temperaturas. En cambio, (Hernández *et al.*, 2015), coincide en señalar a julio y agosto como los mejores al obtener en esa etapa los más altos rendimientos. Estos resultados en el cultivo de soya en secano, claro está que son fuertemente dependiente de la pluviometría de cada zona en particular.



**FIGURA 4.** Comportamiento del rendimiento en seco obtenido por DSSAT para diferentes fechas de siembra de la soya variedad Júpiter

En la [Figura 4](#) se destaca por sus más altos rendimientos las fechas de siembra correspondientes al mes de mayo, especialmente la del 15 de mayo acorde al análisis de los valores correspondientes al percentil. A pesar de encontrarse dentro de los meses donde mayor número de precipitaciones se acumuló la insuficiencia de agua para suplir la demanda total del cultivo, produjeron mermas en el peso de los granos y los rendimientos con respecto a las condiciones potenciales.

Por otro lado, es de gran importancia analizar el comportamiento de los días para la cosecha. En los primeros meses del año, enero y febrero, así como en el mes de diciembre estos valores presentan una alta variabilidad y alcanzan sus valores máximos hasta de 225 días en la fecha del 15 de enero. Además en el mes marzo ocurre una disminución de este parámetro llegando a su valor mínimo 95 días en la primera quincena de septiembre. En el caso del 15 de mayo, la cual es la fecha que resalta con los mayores rendimientos los días de cosecha varían de 150 a 160 días lo que es muy superior a los valores encontrados en la literatura.

Con el objetivo de lograr un compromiso entre los días para la cosecha y el rendimiento se escogió como fecha óptima de siembra el 15 de julio, fecha en la cual los días para cosecha rondan los 110 días que es lo referido según ([Hernández et al., 2015](#)) y en algunos años se obtienen rendimientos de hasta 2400 kg/ha lo cual está acorde con algunos estudios como el realizado por [Romero et al. \(2013\)](#). Además esta fecha de siembra concuerda con la recomendada por ([Hernández et al., 2015](#)).

### Estrategias de riego

Luego de seleccionar la fecha de siembra óptima, se procedió a estudiar el efecto que provocan diferentes estrategias de riego sobre los rendimientos en la fecha de siembra seleccionada. En la [Figura 5a](#) se observa el resultado de este proceso para diferentes combinaciones de lámina de riego aplicada y el porcentaje de la capacidad de campo. Los rendimientos varían desde 500 kg/ha hasta 2900 kg/ha. Se observa además que los valores de rendimientos poseen la misma tendencia en función de la capacidad de agua disponible para las diferentes cantidades de riego aplicado. Es notorio señalar que para el mismo porcentaje de la capacidad de campo las diferentes cantidades de riego aplicado no provocan diferencias significativas en los rendimientos, siendo sus valores máximos de 2820 kg/ha y 2920 kg/ha para 5 mm a 85% y 20 mm a 85%, respectivamente.

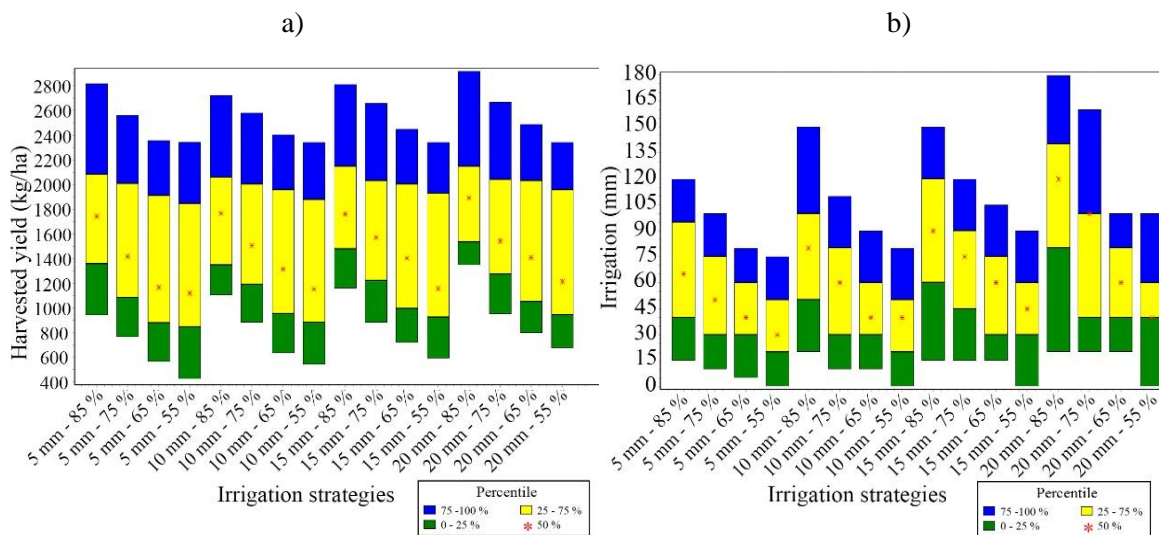
Según ([Hernández et al., 2015](#)), la variedad de soya Júpiter es un clon veraniego y se debe cultivar entre los primeros 15 días de julio y a mediación de agosto para alcanzar rendimientos superiores a los 3800 kg/ha; lo cual no se valida en este estudio atendiendo al resultado de los rendimientos, los cuales no superan esta cota en ninguno de los tratamientos. Sin embargo en otros estudios se reportan rendimientos alrededor de 2000 kg/ha ([Romero et al., 2013](#); [Hernández et al., 2015](#)).

En función de garantizar los rendimientos más favorables se considera adecuado comenzar el riego a un 85% de agua disponible de la capacidad de campo, de esta forma se obtiene que las medias de los rendimientos en los 29 años de simulación están por encima de los 1800 kg/ha con independencia de la lámina de riego aplicada. Esto coincide con lo planteado por [Romero et al. \(2013\)](#), donde se realizan dos riegos por semana con el objetivo que las condiciones de humedad en el suelo se mantengan entre 75% y 80% de la capacidad de campo.

En la [Figura 5b](#) se muestra la cantidad total de riego aplicado (mm) por cada uno de los tratamientos, parámetro que depende significativamente de la lámina aplicada en cada riego, llegando hasta valores de 180 mm alregar 20 mm

al 85% de la capacidad de campo. Es muy importante en este estudio realizar un uso eficiente del recurso agua, al analizar las medias y la varianzas de los rendimientos en los tratamientos en los que se riega al 85% de la capacidad de campo, se obtiene que estas variables no tienen variaciones significativas, por lo que el tratamiento que menos agua consume (5 mm a 85%) sería el más eficiente.

Sin embargo, otra variable de gran interés es el número total de riegos durante el ciclo de vida del cultivo. En este sentido el tratamiento (5 mm a 85%) que menos agua consume es en el que se riega mayor cantidad de veces siendo su valor mayor del doble con respecto al siguiente tratamiento (10 mm a 85%), lo que genera otros tipos de gastos que también son importantes. Considerando que los rendimientos no varían significativamente y manteniendo un balance entre el consumo de agua y el número de riegos se puede afirmar que la estrategia que aplica una lámina de 10 mm al 85% de la capacidad de campo es la más adecuada. Esta estrategia coincide con (Hernández et al., 2015), en la cantidad total de riego acumulado. Sin embargo, aplica aproximadamente la mitad de lo recomendado por Duarte et al. (2015).



**FIGURA 5.** Resultados obtenidos en la herramienta DSSAT para la fecha óptima de siembra del 15 de julio, a) rendimiento y b) cantidad de riego aplicado.

### CONCLUSIONES

La soja variedad Júpiter, tanto para condiciones potenciales y de secano en el Sur de Mayabeque, cuenta con fecha óptima de siembra de 15 de julio, cuyo ciclo del cultivo es de alrededor de 110 días con rendimientos de hasta 4600 y 2300 kg/ha, por de condiciones.

Para las diferentes estrategias de riego no se aprecian diferencias significativas en los rendimientos en función de la cantidad total de agua aplicada. En cambio, los rendimientos si dependen del porcentaje de agua fijado como límite para la iniciación del riego. La estrategia de riego que aplica 10 mm al 85 % de la capacidad de campo constituye la variante más adecuada considerando los rendimientos y el balance entre el agua total aplicada y la cantidad de riegos.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, F.H.; SADRAS, V.O.; ALVARES, H.A.; BEDNAR, H.A.: *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*, Ed. INTA Balcarce, Buenos Aires, Argentina, 443 p., 2000, ISBN: 987-521-016-1.
- ANDRADES, M.; MARTÍNEZ, M.E.: *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. (en línea). Consultado 22 mar. 2017, 2014.
- ARSHAD, M.N.; AHMAD, A.; WAJID, S.A.; CHEEMA, M.J.M.; SCHWARTZ, M.W.: “Adapting DSSAT Model for Simulation of Cotton Yield for Nitrogen Levels and Planting Dates”, *Agronomy Journal*, 109(6): 2639–2648, 2017, ISSN: 0002-1962, E-ISSN-1435-0645.
- ATTIA, A.; RAJAN, N.; XUE, Q.; NAIR, S.; IBRAHIM, A.; HAYS, D.: “Application of DSSAT-CERES-Wheat model to simulate winter wheat response to irrigation management in the Texas High Plains”, *Agricultural Water Management*, 165: 50–60, 2016, ISSN: 0378-3774, E-ISSN-1873-2283.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PICKERING, N.B.: “The CROPGRO model for grain legumes”, En: *Understanding options for agricultural production*, Ed. Springer, pp. 99–128, 2013.
- COURLY, J.: *Studie van de waterbalans in verzilte bodems van een suikerrietplantage in Cuba*, Universidad de Gante, Tesis (en opción al grado científico de Master en Ciencias), Gante, Bélgica, 2001.

- DÍAZ, H.: *Mejoramiento y producción de semillas de soya en Cuba*, Academia de Ciencias de Cuba, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias), La Habana, Cuba, 1979.
- DÍAZ, P.; MEDINA, G.G.; RUÍZ, J.C.; SERRANO, A.: *Potencial productivo del cultivo de soya (Glycine max (L.) Merrill) en México. Ciclo primavera-verano*, Publicación Técnica ed., vol. Delimitación en sistemas de información geográfica, México, 2007.
- DUARTE, D.C.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T.; GONZÁLEZ, R.F.; ZAMORA, H.E.: “Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba”, *Ingeniería Agrícola*, 5(4): 46–51, 2015, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- GONZÁLEZ, F.; HERRERA PUEBLA, J.; LÓPEZ SEIJAS, T.; CID LAZO, G.: “Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4): 21–27, 2014, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. AGRINFOR, LL Barcaz, Ed., t. 1 ed., La Habana, Cuba, 1999, ISBN: ISBN-959-246-022-1.
- HERNÁNDEZ, Y.; SOTO PÉREZ, N.; FLORIDO BACALLAO, M.; DELGADO ABAD, C.; ORTIZ PÉREZ, R.; ENRÍQUEZ OBREGÓN, G.: “Evaluación de la tolerancia a la salinidad bajo condiciones controladas de nueve cultivares cubanos de soya (Glycine max (L.) Merrill)”, *Cultivos Tropicales*, 36(4): 120–125, 2015, ISSN: 0258-5936.
- HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; HUNT, L.A.; SINGH, U.; J.L. LIZASO; WHITE, J.W.; URYASEV, O.: *Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)*, [en línea], (Versión Version 4.6. 1.0.), Ed. DSSAT Foundation, Washington, USA, Prosser, 2015, Disponible en: ([www.DSSAT.net](http://www.DSSAT.net)).
- JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T.: “The DSSAT cropping system model”, *European journal of agronomy*, 18(3-4): 235–265, 2003, ISSN: 1161-0301.
- MARTÍNEZ, R.: “Efecto del riego deficitario controlado en la productividad del banano”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2): 51–55, 2013, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- MERINO, D.: *Caracterización morfofisiológica y agronómica de cultivares de soya (Glycine max (L.) Merr) en siembra de invierno en suelo pardo con carbonos*, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Tesis (en opción al Título de Ingeniero Agrónomo), Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2006.
- NGWIRA, A.R.; AUNE, J.B.; THIERFELDER, C.: “DSSAT modelling of conservation agriculture maize response to climate change in Malawi”, *Soil and Tillage Research*, 143: 85–94, 2014, ISSN: 0167-1987.
- ORTIZ, R.A.: “Crop simulation models as an educational tool”, En: *Understanding Options for Agricultural Production*, Ed. Springer, vol. 7, pp. 157-177, 2013, ISBN: 0-7923-4833-8.
- ROMERO; RUZ, R.; GONZÁLEZ, M.: “Evaluación de siete cultivares de soya (Glycine max) en las condiciones edafoclimáticas del municipio Majibacoa, Las Tunas”, *Pastos y Forrajes*, 36(4): 459–463, 2013, ISSN: 0864-0394.
- ROSAS, J.C.; YOUNG, R.: *El cultivo de la soya*, AG-9603 ed., Escuela Panamericana El Zamorano, Departamento de Agronomía Honduras, San Pedro Sulas, 61 p., 1996.

Leynier Tuero Suárez, profesor, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico: [leynierts@unah.edu.cu](mailto:leynierts@unah.edu.cu)

Jorge Días Suárez, Correo electrónico: [jdias@unah.unah.edu.cu](mailto:jdias@unah.unah.edu.cu)

Jorge García Coronado, Correo electrónico: [jgarcia@unah.edu.cu](mailto:jgarcia@unah.edu.cu)

Saray Gómez O'farrill. Correo electrónico: [leynierts@unah.edu.cu](mailto:leynierts@unah.edu.cu)

## NOTAS

\*Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

\*Este artículo de se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

\*La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.