



Artículo original

Variabilidad del rendimiento en cultivares de soya (*Glycine max* L. Merrill). Parte II. Época de primavera

Osmany Roján-Herrera^{1*} 

Lázaro A. Maqueira-López¹ 

Joselín Solano-Flores¹ 

Miriam Núñez-Vázquez² 

Héctor C. Robaina-Gil³ 

¹Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios". Km 1½ carretera La Francia, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. CP 22900

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

³Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", Avenida José Martí No. 270, Pinar del Río, Cuba, CP 20100

* Autor para correspondencia: orojan@inca.edu.cu

RESUMEN

La investigación se desarrolló en áreas de la Unidad Científico Tecnológica de Base, Los Palacios, Pinar del Río, perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. El objetivo fue evaluar la variabilidad del rendimiento en cuatro cultivares de soya (*Glycine max* (L.) Merrill), asociados a variables meteorológicas (temperaturas, radiación solar y la humedad relativa), según fecha de siembra en la época de primavera. Los cultivares utilizados fueron DVN-5, DVN-6, DT-84, D-2101, los cuales se sembraron en tres fechas de siembra diferentes (mayo 2012, abril 2013 y mayo 2013), correspondientes a la época de primavera, sobre un suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso Petroférrico. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos (los cultivares) y tres réplicas, se evaluó el rendimiento agrícola y sus principales componentes, además de variables meteorológicas (temperaturas, radiación solar, humedad relativa), en diferentes etapas fenológicas del cultivo (V_e -R₁, R₁-R₅, R₅-R₇). Los resultados obtenidos indicaron que las variables meteorológicas estudiadas influyeron en la variabilidad del rendimiento de la soya en

época de primavera. De los componentes estudiados el más asociado al rendimiento fue el número de vainas/planta para las tres fechas de siembra en general. Las variables climáticas evaluadas que más influyeron en la duración de las etapas fueron las temperaturas y la radiación solar en la etapa R₁-R₅, los grados días acumulados y la humedad relativa en la etapa R₅-R₇.

Palabras clave: temperatura, fenología, productividad, humedad relativa, genotipos

Recibido: 25/10/2019

Aceptado: 26/07/2020

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el cultivo de la soya (*Glycine max* (L.) Merrill) es uno de los más importantes debido al elevado contenido de aceite y proteínas que posee el grano ⁽¹⁾. Algunos estudios muestran que la tasa global de aumento del rendimiento en este cultivo, necesitará casi duplicarse para satisfacer las demandas de la población previstas para 2050, por lo que varios factores pueden influir en las ganancias del rendimiento a lo largo del tiempo ⁽²⁾.

Recientemente se ha demostrado que las causas para la mejora del rendimiento de la soya están basadas en la inclusión de cambios en las prácticas de manejo, en la mejora genética, y las condiciones ambientales ⁽³⁾, sin dejar de mencionar que las estimaciones de un alto rendimiento a menudo darán como resultado grandes brechas, con una probabilidad considerable de que no sea económico o sostenible ⁽⁴⁾.

En este sentido, estudios anteriores afirmaron que las variables meteorológicas como la temperatura, radiación solar, precipitaciones y humedad relativa, causan un efecto directo sobre el crecimiento y rendimiento en el cultivo de la soya ^(5,6). También la fecha de siembra se ha evaluado ampliamente en diferentes ambientes, considerándose una de las decisiones de producción menos costosa, a la vez que tiene una mayor influencia en el rendimiento que cualquier otra práctica de manejo ⁽⁷⁾.

Por otra parte, se ha descrito la importancia del rendimiento como el resultado de un proceso de actividades agrícolas efectuadas durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo, por lo cual es importante conocer la fenología del mismo, la duración posible de las diferentes fases o etapas y sus problemas potenciales y necesidades fundamentales ⁽⁸⁾. Algunos resultados han arrojado que el gran cambio estacional de las condiciones ambientales puede tener efectos considerables en los rendimientos, a los que la capacidad de respuesta de los procesos de producción de la planta es diferente según la etapa de desarrollo ⁽¹⁾.

Estos aspectos evidencian en cierta medida que el comportamiento y la respuesta de los cultivares de soya a las condiciones ambientales es diferente según la fecha de siembra y la época en que se

establezca el cultivo, de ahí que el análisis de las variables meteorológicas puede ser adecuado para detectar las diferencias de adaptación de la soya en un ambiente determinado. Por tanto, el presente trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar la variabilidad del rendimiento en cuatro cultivares de soya (*Glycine max* (L.) Merrill), asociados a variables meteorológicas (temperaturas, radiación solar y la humedad relativa), según fecha de siembra en la época de primavera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron 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 de Pinar del Río, a los 22°44' de latitud Norte y a los 83°45' de latitud Oeste, a 60 m.s.n.m, con pendiente aproximada de 1 %. Se evaluaron cuatro cultivares de soya de procedencia vietnamita (DVN-5, DVN-6, DT-84, D-2101), los cuales fueron sembrados en tres fechas de siembra diferentes; mayo 2012, abril 2013 y mayo 2013, correspondientes a la época de primavera.

El suelo del área experimental se clasifica, según la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba ⁽⁹⁾, como Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso Petroférrico. Como resultados del muestreo de suelo del área experimental, se muestran algunas propiedades que caracterizan su fertilidad (Tabla 1).

Tabla 1. Algunas propiedades de la capa arable (0-20 cm) que caracterizan la fertilidad del suelo donde se desarrollaron los experimentos

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P ₂ O ₅	MO
H ₂ O	cmol kg ⁻¹ Suelo			mg 100 g ⁻¹ de suelo	%
6,49	7,01	3,13	0,23	20,47	2,72

Las principales características de los cultivares en estudio se presentan en la Tabla 2 ⁽¹⁰⁾, los que se sembraron por siembra directa a distancia (manual), de 0,70 m entre surco y 0,07 m entre plantas, con una norma de 54 kg ha⁻¹ de semillas. Las labores fitotécnicas se realizaron según lo recomendado en el Manual Técnico del Cultivo de Soya ⁽¹¹⁾. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos (DVN-5, DVN-6, DT-84, D-2101) y tres réplicas en cada período de siembra. Las parcelas experimentales contaron con un área total de 30 m².

Tabla 2. Principales características de los cultivares de soya estudiados en los experimentos

	DVN-5	DVN-6	DT-84	D-2101
Rendimiento (t ha ⁻¹)	3,5-3,0	3,5-3,0	2,5-3,0	2,0-3,0
Número de vainas/planta	61-51	60-53	23-47	25-55
Número de granos/planta	121-110	100-89	54-110	70-123
Masa 1000 granos (g)	170,0	173,0	170,0	180,0
Época de siembra	Primavera- Verano	Primavera- Verano	Invierno- Primavera	Invierno- Verano
Ciclo (días)	92-100	95-100	90-92	90-95

Los valores de temperatura máxima, mínima y media diaria (T máx, T mín, T med), las precipitaciones, la radiación solar global (RSG) y humedad relativa (Hr), del período en que duraron los experimentos, se aprecian en la Figura 1, los cuales fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de Paso Real de San Diego, en Los Palacios.

Se determinó la temperatura acumulada a partir del cálculo de la sumatoria térmica o grados días acumulados (GDA) mediante la siguiente fórmula ⁽¹²⁾:

$$GDA = \sum^n ((T \text{ máx.} + T \text{ mín.})/2) - T \text{ base}$$

Donde en este caso se seleccionó como temperatura base a 10 °C ⁽¹⁾ y n el número de días en el período considerado.

En cada parcela experimental en el momento de la cosecha se tomaron diez plantas representativas al azar en el área efectiva para desprejar el efecto de borde, y fueron determinadas las siguientes variables:

- Número de vainas por planta (No vainas)
- Número de granos por planta (No granos)
- Masa de mil granos (Masa 1000)

En cuanto al número de granos y número de vainas, se contabilizó el valor de cada variable en las diez plantas por parcela. De todos los granos de las 10 plantas muestreadas, se tomaron cuatro muestras al azar de 1000 granos por parcela. Estas se secaron hasta que los granos alcanzaron un 14 % de humedad y posteriormente se pesaron las muestras en una balanza analítica (KERN_{PLJ} e=0,01 g) para obtener el valor de la masa en gramos.

Para determinar el rendimiento agrícola (t ha⁻¹) se cosecharon ocho m² del centro en cada parcela experimental, se trillaron las plantas y se secaron los granos hasta alcanzar el 14 % de humedad.

Las medias del rendimiento y sus componentes por cultivar y fecha de siembra, se sometieron a un análisis de varianza (ANAVA), y las diferencias significativas se determinaron con el

test de Tukey ($p < 0,05$); a partir del error experimental resultante, se calculó el intervalo de confianza de las mismas. Se construyeron dos matrices de datos; 1) cultivares, fechas de siembra, rendimiento y sus componentes; 2) cultivares, fechas de siembra, duración (días) de tres etapas fundamentales (Ve-R₁, etapa de prefloración e inicio de la floración (5-37 días después de la emergencia); R₁-R₅, etapa reproductiva temprana en la cual se establecen la mayoría de los frutos y comienzo del llenado de las semillas (37-65 días después de la emergencia), y etapa R₅-R₇, período de llenado de las semillas (65-92 días después de la emergencia)⁽¹³⁾, variables meteorológicas y grados día acumulados; las cuales se procesaron por la técnica multivariada de Componentes Principales, mediante la representación de un Biplot. Se utilizó el paquete estadístico Statgraphics 5.0⁽¹⁴⁾.

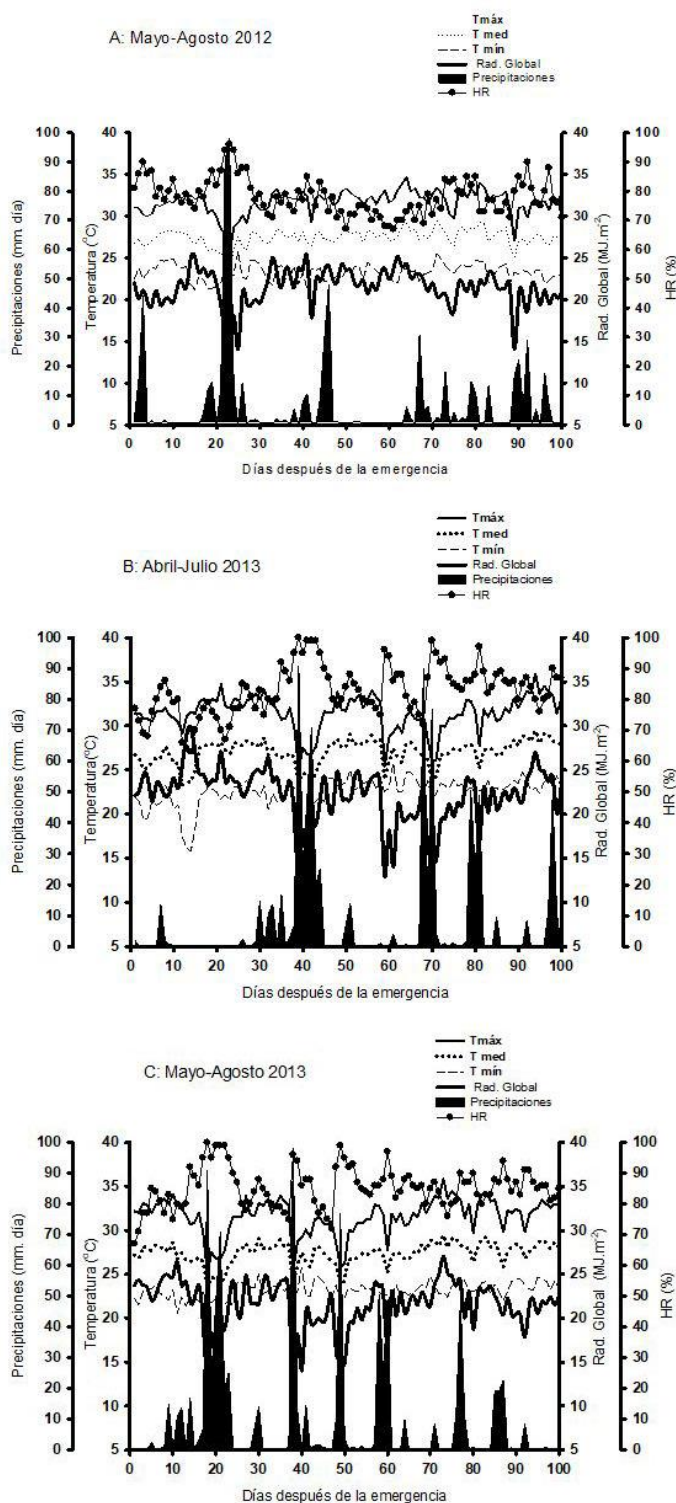


Figura 1. Temperaturas (máxima, media, mínima) diarias, precipitaciones, radiación solar global y humedad relativa, tomada de la Estación Agrometeorológica de Paso Real de San Diego, durante el período que duraron los experimentos. A: Período de siembra de mayo a agosto de 2012, B: Período de siembra de abril a julio de 2013, C: Período de siembra de mayo a agosto de 2013

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestra la respuesta del rendimiento agrícola de los cultivares en las diferentes fechas evaluadas. De manera general, se observa una variación de esta variable tanto entre fechas de siembra como entre cultivares, demostrándose una vez más que no se puede definir un patrón de comportamiento específico, si se tiene en cuenta el papel que juegan ciertos factores en el proceso de formación del rendimiento para un cultivar determinado.

En mayo 2012 los cultivares (DT-84, DVN-6, D-2101) alcanzaron la mejor respuesta, con diferencias significativas a las fechas de abril y mayo 2013. Sin embargo, el cultivar DVN-5 mostró una respuesta inversa a los demás cultivares estudiados, o sea, los valores más altos de rendimiento fueron alcanzados en las fechas de abril y mayo 2013, sin diferencias significativas entre ambas. El cultivar D-2101 alcanzó los rendimientos más altos en las tres fechas de siembra, sobre todo en mayo 2012 con un valor de 4,20 t ha⁻¹. Por otra parte, el cultivar DVN-6 obtuvo los rendimientos más bajos, fundamentalmente en las fechas de abril y mayo 2013, con valores de 2,88 y 2,87 t ha⁻¹ respectivamente.

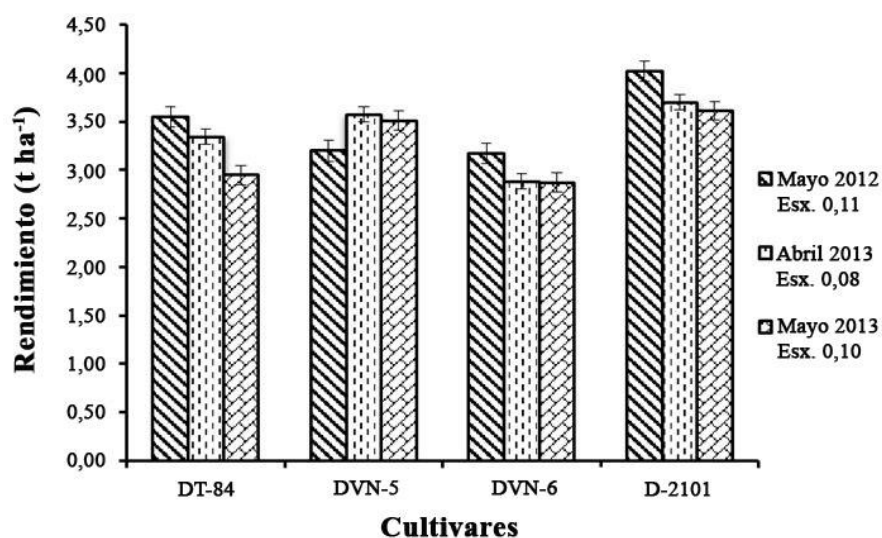


Figura 2. Rendimiento agrícola (t ha⁻¹) al 14 % de humedad del grano de los cultivares de soya en las tres fechas de siembra

Resultados relacionados con el efecto de la fecha de siembra demuestran que las variaciones en el rendimiento se deben fundamentalmente, a la influencia que ejercen las variables meteorológicas en la formación del mismo ^(7,15). Por tanto, al analizar el comportamiento de las variables meteorológicas durante el tiempo en que duraron los experimentos, se observó que los mayores valores de temperatura y radiación solar (Figura 1), coinciden con la fecha de siembra donde los

cultivares alcanzaron los rendimientos más altos (mayo 2012). Algunos autores informaron que el rendimiento del cultivo de la soya estaba fuertemente correlacionado con la temperatura máxima diaria (≤ 30 °C) durante la etapa de llenado de los granos (R₅-R₇), o sea, temperaturas altas generalmente están asociadas a una mayor duración del período, lo que lleva a una mayor disponibilidad de radiación incidente ^(5,16). Este efecto directo permite aumentar la eficiencia del uso de la radiación para el rendimiento, de hecho, algunos resultados muestran que la distribución espacial de las vainas en un mayor número de nudos, podría mejorar esta eficiencia a través de la reducción de la competencia dentro de los nudos ⁽¹⁷⁾.

Los bajos rendimientos alcanzado por el cultivar DVN-6 en las fechas de abril y mayo 2013, tienen una cierta relación con el período donde se registraron los mayores valores de precipitaciones y humedad relativa, a la vez que las temperaturas y la disponibilidad de radiación solar fueron relativamente inferiores en comparación al comportamiento de éstas en la fecha de mayor rendimiento. Resultados similares fueron reportados por otros autores, donde muestran que la reducción de la radiación incidente a través del sombreado aplicado desde R₃ en adelante disminuyó el número de vainas y de granos, dada la fuerte relación que existe entre ambos componentes y el crecimiento durante el período crítico en la soya ⁽¹⁸⁾.

Se ha planteado la posibilidad de incrementar la rentabilidad en el cultivo de la soya en las regiones tropicales, sobre todo en la época de primavera, donde las condiciones ambientales pueden tener un comportamiento idóneo para el crecimiento del cultivo ⁽¹⁹⁾. En Cuba, estudios previos afirman que los mayores rendimientos en el cultivo de la soya se obtienen en la época de primavera, debido a que es el período del año donde la planta alcanza una mayor altura, incrementándose el número de estructuras reproductivas por unidad de superficie de suelo ⁽²⁰⁾.

Esta variabilidad del rendimiento entre fechas de siembra y entre cultivares, se evidenció aún más al analizar el comportamiento de sus principales componentes numéricos (Tabla 3), por lo que se puede explicar la influencia que ejercen estos componentes durante el proceso de formación del rendimiento, si se tiene en cuenta las condiciones en que se desarrollaron los experimentos. Para al número de vainas, el mejor comportamiento lo alcanzaron los cultivares en la fecha donde se obtuvo los valores más altos del rendimiento, y aunque diversos autores definen esta variable como un componente indirecto ⁽²¹⁾, aparentemente tuvo una influencia en la determinación del mismo. Condiciones meteorológicas adversas durante esta etapa provocan una caída en el número de vainas, y consiguientemente, una disminución en el número de granos, lo que conlleva a obtener bajos rendimientos ⁽¹⁵⁾. Varios autores mantienen la teoría de que el rendimiento se correlaciona positivamente con las vainas por nudo, y aunque esta variable no se determinó en este estudio, hay

que reconocer el papel que juega el número de nudos a la hora de fijar estructuras reproductivas que dan comienzo al proceso de formación del rendimiento, sobre todo en el número de vainas ^(15,17,22).

Tabla 3. Respuesta de los principales componentes de rendimiento de los cultivares de soya en las diferentes fechas de siembra estudiadas

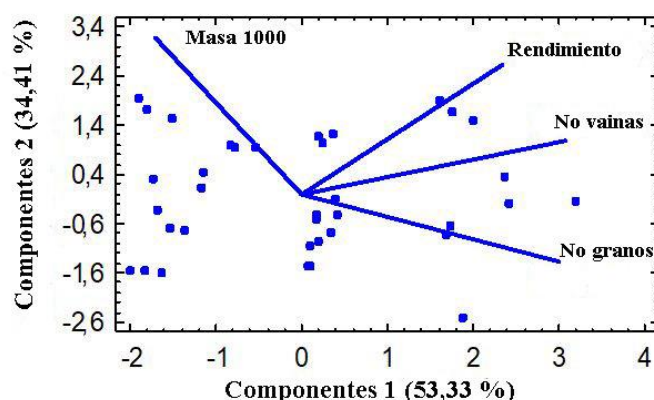
Mayo 2012			
Cultivares	No. vainas	No. granos	Masa 1000
DT-84	74,9-81,7	108,9-119,7	234,9-252,5
DVN-5	68,4-75,2	109,6-120,4	245,8-263,4
DVN-6	66,7-73,5	102,1-112,9	246,9-264,5
D-2101	81,0-87,8	126,4-137,2	246,5-264,1
Esx.	1,76	2,77	4,47
Abril 2013			
DT-84	67,1-76,1	115,2-128,2	194,5-131,1
DVN-5	61,3-70,3	121,1-134,1	150,8-187,4
DVN-6	54,1-63,1	102,3-115,3	222,0-258,6
D-2101	74,4-83,4	130,1-143,1	169,4-206,0
Esx.	2,28	3,33	9,36
Mayo 2013			
DT-84	67,3-74,9	115,9-123,5	167,5-208,7
DVN-5	62,0-69,6	107,3-114,9	250,6-291,8
DVN-6	58,6-66,2	99,3-106,9	190,0-231,2
D-2101	75,1-82,7	113,5-121,1	240,8-282,0
Esx.	1,92	1,94	10,51

Intervalo de confianza al 95 % de probabilidad calculado a partir de la media teniendo en cuenta el error experimental del análisis de varianza

En relación al número de granos, los mayores valores fueron alcanzados por los cultivares en la fecha de abril 2013, en la cual se obtuvieron rendimientos bajos en comparación a los obtenidos en la fecha de siembra de mejor comportamiento (mayo 2012). Sin embargo, se debe subrayar que la fecha de mayo 2013 coincide nuevamente con los valores más bajos alcanzados por los cultivares. En resultados anteriores se confirmó que los procesos fisiológicos que explican las variaciones del rendimiento, comúnmente se asocian a la determinación del número de granos por unidad de área de suelo, ya que este es el principal componente numérico del rendimiento ⁽²³⁾. Por otra parte, al realizar el análisis de los cultivares de manera independiente, se ratificó el cultivar D-2101 como el de mejor respuesta en las tres fechas de siembra. Esto tiene gran acierto al punto de que se hace posible que distintos genotipos puedan tener rendimientos similares o diferentes en un mismo ambiente, y que un genotipo pueda tener distintos rendimientos en diferentes ambientes ⁽²⁴⁾. En experimentos realizados bajo condiciones ambientales controladas con genotipos de diferentes

ciclos de desarrollo, se obtuvo variaciones en el número de granos, lo que trajo consigo una disminución en el rendimiento ⁽²²⁾. De ahí que estudios posteriores por estos mismos autores, demuestran que el rendimiento se correlaciona positivamente con el número de granos, sin embargo, destacan la importancia que juega el número de vainas durante el período crítico del cultivo (período en el cual la planta se encuentra con mayor sensibilidad), sobre todo en el llenado de los granos ⁽¹⁷⁾. Por otra parte, la masa de los granos tuvo una respuesta similar al número de vainas, por lo que debió ser un elemento importante en la formación del rendimiento. Sin embargo, hay que resaltar que esta variable alcanzó un comportamiento contrario al número de granos, o sea, en la fecha de siembra donde los cultivares obtuvieron un valor bajo en la masa de los granos, fue donde alcanzaron el mayor número de los mismos. Al respecto, algunos resultados han llegado a la conclusión que el incremento en el rendimiento puede atribuirse al considerable aumento en el número de vainas por planta y el peso de los granos ⁽⁵⁾. En otras palabras, cada componente es afectado con distinta intensidad por el ambiente en cada etapa de desarrollo y dentro de ciertos límites, pero hay capacidad de compensar las reducciones en un componente aumentando el subsiguiente ⁽²¹⁾, aunque en un amplio rango de condiciones agronómicas, el número de granos como componente principal del rendimiento, solo puede ser compensado por la masa de los mismos ⁽²⁵⁾.

A partir de los resultados anteriores y al analizar el grado de asociación del rendimiento agrícola y sus principales componentes, quedó resuelto que la variable más influyente sobre la expresión del rendimiento fue el número de vainas/planta, visto de manera general para las tres fechas de siembra estudiadas. Esto se demuestra en el análisis de componentes principales, donde las componentes 1 y 2, explicaron un 87,74 % de la variabilidad total (Figura 3).



Masa 1000: masa de mil granos (g). Rendimiento: Rendimiento agrícola ($t\ ha^{-1}$). No granos: Número de granos por planta. No vainas: Número de vainas por plantas

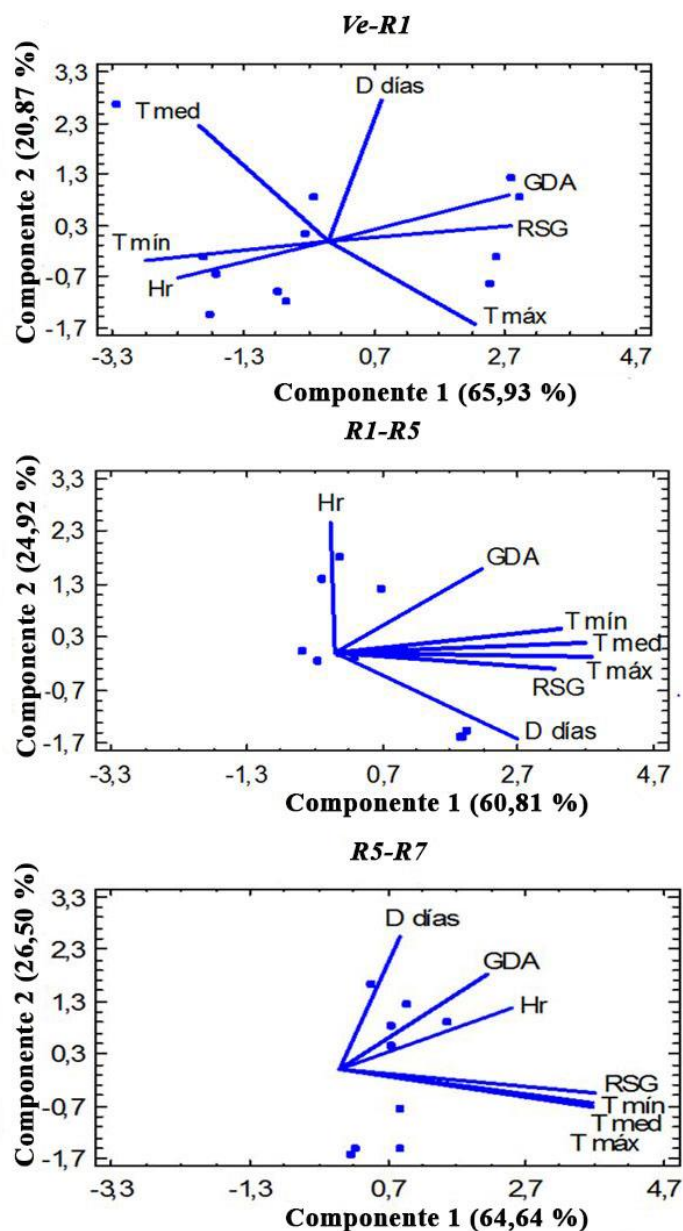
Figura 3. Asociación del rendimiento agrícola de los cultivares de soya con las variables obtenidas sobre el primer y segundo componente en las tres fechas de siembra estudiadas

La masa de los granos obtuvo una alta separación angular respecto al número de vainas, número de granos y el rendimiento. Esto indica que bajo estas condiciones a medida que aumenta el número de granos y el número de vainas, disminuye la masa de los mismos y viceversa, lo que se demuestra una vez más el nivel compensatorio entre estas variables.

Resultados similares se obtuvieron en condiciones tropicales con cultivares de soya de diferente grupo de madurez, donde el aumento del rendimiento se le atribuye al considerable incremento en el número de vainas por planta y al número de granos ⁽⁵⁾. Otros estudios relacionados con este resultado, permitieron establecer que la respuesta general encontrada es que el número de granos por m² es el componente más asociado a las variaciones en el rendimiento en el cultivo de la soya, sin embargo, hay situaciones que el rendimiento se explica por las variaciones en el peso unitario y/o por variaciones conjuntas ^(21,25).

Otro aspecto importante es la influencia de las variables meteorológicas como una de las principales fuerzas impulsoras para definir las diferentes etapas fenológicas por las que transita el cultivo, por tanto, la duración de cada una de estas etapas explica parcialmente la generación y la variación de los componentes morfológicos del rendimiento. De ahí que al analizar el grado de asociación entre estas variables y la duración en días en cada una de las etapas estudiadas para las tres fechas de siembra en general, se evidenció las diferencias existentes entre ellas (Figura 4).

En la etapa fenológica Ve-R₁, no existió asociación alguna con las variables analizadas (temperatura, radiación solar, humedad relativa), por lo que en este caso no es posible definir un patrón de comportamiento que permita explicar la influencia de las mismas en vista a los cambios fenológicos de la planta. Sí es preciso destacar que la literatura señala a la temperatura como la variable que más influencia ejerce en la tasa de desarrollo del cultivo, desde la emergencia hasta la cosecha, lo que significa que todas las cosechas y todas las etapas de desarrollo son sensibles a la misma ⁽¹⁸⁾. También, al igual que la temperatura se hace referencia al efecto que causa la duración del día en el crecimiento del cultivo de la soya, fundamentalmente desde la etapa donde aparece la primera hoja trifoliada (V₁) hasta el comienzo de la floración (R₁) ^(17,18), aunque esta variable no fue analizada en el presente estudio.



D días: Duración en días (días). GDA: Grados días acumulados (°C). RSG: Radiación solar global (MJ.m⁻²). T mín: Temperatura mínima (°C).
T med: Temperatura media (°C). T máx: Temperatura máxima (°C). Hr: Humedad relativa (%)

Figura 4. Asociación de las principales variables meteorológicas con la duración en días de los cultivares de soya en cada una de las etapas fenológicas estudiadas para las tres fechas de siembra en general

Sin embargo, en la etapa fenológica R₁-R₅, la asociación más clara a la duración en días estuvo dada por la radiación solar y las temperaturas. Esto se puede vincular de cierta manera a las variaciones del rendimiento y sus principales componentes, ya que las variables asociadas se relacionan con los cambios en la disponibilidad de asimilados después del comienzo de la floración⁽¹⁸⁾. Es importante resaltar que algunos autores sugieren óptimos de temperatura para el desarrollo de la soya, o sea, el rango de 16-28 °C durante todo el período del cultivo, de 15-22 °C, 20-22 °C y 15-22 °C como temperaturas óptimas para las etapas de emergencia, floración y madurez respectivamente, o un

máximo de 27 °C para el período de llenado de los granos ⁽¹⁾. En este estudio, la temperatura media en la fecha de mayo 2012 (Figura 1), cuando comenzó el inicio de llenado de los granos (65 días después de emergencia), registró un valor alrededor de los 29,0 °C, lo que justifica el bajo número de granos alcanzado por los cultivares en esta fecha, si se tiene en cuenta el máximo de temperatura para el desarrollo de los mismos según la literatura. Estudios realizados con temperaturas altas, demostraron que éstas tuvieron un efecto negativo significativo en el rendimiento y la biomasa producida, debido a la tasa de crecimiento más lenta que obtuvo el cultivo, a la vez que disminuyó el tamaño de los granos y se incrementó el arrugamiento de los mismos ⁽²⁶⁾. Por otra parte, en la fecha de siembra (mayo 2013), donde se registraron los valores más bajos del rendimiento coincidió con una baja disponibilidad de radiación solar durante toda esta etapa. Se ha hecho evidente en diferentes resultados que la reducción de la radiación incidente a través del sombreado aplicado desde R₃ en adelante, disminuyó el número de vainas y granos ^(18,22). Este fue un resultado a esperar, dada la fuerte relación que existe entre los componentes de rendimiento y el crecimiento durante el período crítico del cultivo. Por tanto, un mecanismo fisiológico que se asocia comúnmente con un mayor rendimiento de soya es extender todo o parte de la duración del crecimiento reproductivo, a la vez que hay una mayor interceptación de la radiación solar y un aumento en la fotosíntesis diaria del cultivo, y de esta manera, se garantiza una mayor disponibilidad de fotoasimilados ⁽¹⁸⁾. En cambio, en la etapa fenológica R₅-R₇, la mayor influencia fue ejercida por los grados días acumulados y la humedad relativa. El tiempo térmico se utiliza generalmente para incluir los efectos de la temperatura y describir la temporización de los procesos biológicos de la planta, o sea, se puede definir como la cantidad de grados días necesarios para completar un determinado proceso de desarrollo o fase fenológica ⁽⁸⁾. Por lo que en este estudio el tiempo térmico debió tener cierta incidencia en la duración de la etapa, de manera tal que pudiera dar respuesta a las variaciones en el número de granos, es decir, existe una relación directa en la duración de la etapa, la radiación incidente y la determinación en el número de granos. En el caso de la humedad relativa, es evidente esta asociación debido a las precipitaciones ocurridas durante esta etapa en todas las fechas de siembra. Estudios muestran que la disminución del vigor de las semillas es una respuesta del deterioro causado por varios factores, fundamentalmente la elevada humedad relativa por causa de lluvias durante el período cercano a la madurez, y por consiguiente, estas semillas tienden a producir plántulas débiles con reducido potencial de rendimiento ⁽²⁷⁾.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos indicaron que los mayores valores del rendimiento agrícola se encontraron en la fecha de mayo 2012, a la vez que el cultivar D-2101 fue el de mejor respuesta en todas las fechas de siembra estudiadas.
- El número de vainas/planta se comportó como la variable que más influyó en la expresión del rendimiento.
- En la etapa fenológica V_e-R_1 no hubo asociación con las variables meteorológicas estudiadas, mientras que en la etapa R_1-R_5 demostraron ser las más influyentes las temperaturas y la radiación solar.
- Los grados día acumulados y la humedad relativa fueron las variables que más asociadas estuvieron a la duración de la etapa fenológica R_5-R_7 .

BIBLIOGRAFÍA

1. Saryoko A, Fukuda Y, Lubis I, Homma K, Shiraiwa T. Physiological activity and biomass production in crop canopy under a tropical environment in soybean cultivars with temperate and tropical origins. *Field Crops Research*. 2018;216:209–16.
2. Rincker K, Nelson R, Specht J, Sleper D, Cary T, Cianzio SR, et al. Genetic improvement of US soybean in maturity groups II, III, and IV. *Crop Science*. 2014;54(4):1419–32.
3. Balboa GR, Sadras VO, Ciampitti IA. Shifts in Soybean Yield, Nutrient Uptake, and Stoichiometry: A Historical Synthesis-Analysis. In: *ASA, CSSA and SSSA International Annual Meetings*. ASA-CSSA-SSSA; 2017.
4. Egli DB, Hatfield JL. Yield gaps and yield relationships in central US soybean production systems. *Agronomy Journal*. 2014;106(2):560–6.
5. Sadeghi H, Abad HHS, Hamidi A, Mohammadi GN, Madani H. Effect of planting management on soybean agronomic traits. *Int. J. Biosciences*. 2014;4(5):85–91.
6. Jing Q, Huffman T, Shang J, Liu J, Pattey E, Morrison M, et al. Modelling soybean yield responses to seeding date under projected climate change scenarios. *Canadian Journal of Plant Science*. 2017;97(6):1152–64.
7. Boyer CN, Stefanini M, Larson JA, Smith SA, Mengistu A, Bellaloui N. Profitability and risk analysis of soybean planting date by maturity group. *Agronomy Journal*. 2015;107(6):2253–62.
8. Flores-Magdaleno H, Flores-Gallardo H, Ojeda-Bustamante W. Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. *Revista fitotecnia mexicana*. 2014;37(2):149–57.

9. Hernández A, Pérez J, Bosch D, Rivero L. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. AGRINFOR. 1999;64.
10. Van BN V, TL A, Hernández B. La colaboración en el cultivo de arroz, maíz, soya Vietnam-Cuba: Resultados y perspectivas: Resultados y perspectivas. Casa editorial de agricultura. 2015;198.
11. Esquivel M. El cultivo y utilización de la soya en Cuba. Manual Técnico. Asociación Cubana de Producción Animal. 1997;56.
12. Velázquez J, Rosales A, Rodríguez H, Salas R. Determinación de las etapas de inicio de macollamiento, inicio de primordio, floración y madurez en la planta de arroz, con el sistema s, vyr correlacionado con la sumatoria térmica. Agronomía Costarricense. 2015;39(2):121–30.
13. Fehr WR, Caviness CE, Burmood DT, Pennington JS. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine Max* (L.) Merrill 1. Crop science. 1971;11(6):929–31.
14. Crop SG. STATGRAPHICS® Plus [Internet]. 2000.(Profesional).
15. Nico M, Miralles DJ, Kantolic AG. Post-flowering photoperiod and radiation interaction in soybean yield determination: Direct and indirect photoperiodic effects. Field Crops Research. 2015;176:45–55.
16. Saryoko A, Homma K, Lubis I, Shiraiwa T. Plant development and yield components under a tropical environment in soybean cultivars with temperate and tropical origins. Plant Production Science. 2017;20(4):375–83.
17. Nico M, Miralles DJ, Kantolic AG. Natural post-flowering photoperiod and photoperiod sensitivity: Roles in yield-determining processes in soybean. Field Crops Research. 2019;231:141–52.
18. Kantolic AG, Peralta GE, Slafer GA. Seed number responses to extended photoperiod and shading during reproductive stages in indeterminate soybean. European Journal of Agronomy. 2013;51:91–100.
19. Vossenkemper JP, Nafziger ED, Wessel JR, Maughan MW, Rupert ME, Schmidt JP. Early planting, full-season cultivars, and seed treatments maximize soybean yield potential. Crop, Forage & Turfgrass Management. 2015;1(1):1–9.
20. Romero A, Ruz R, González M. Evaluación de siete cultivares de soya *Glycine max* en las condiciones edafoclimáticas del municipio Majibacoa, Las Tunas. Pastos y Forrajes. 2013;36(4):459–63.

21. Martignone R, Enrico JM, Bodrero M, Andriani JM. Factores asociados con la variabilidad de rendimientos entre grupos de madurez en soja. EEA Oliveros INTA. 2010;39:36–40.
22. Nico M, Mantese AI, Miralles DJ, Kantolic AG. Soybean fruit development and set at the node level under combined photoperiod and radiation conditions. Journal of experimental botany. 2016;67(1):365–77.
23. Santachiara G, Borrás L, Rotundo JL. Physiological processes leading to similar yield in contrasting soybean maturity groups. Agronomy Journal. 2017;109(1):158–67.
24. Hernández N, Soto F. Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y la relación fuente-demanda del cultivo del maíz *Zea mays* L.). Cultivos Tropicales. 2012;33(1):28–34.
25. Martignone R, Enrico J, Bodrero M, Adriani J, Sonmarti N. Rendimiento de soja en siembras muy tardías: características diferenciales entre cultivares. EEA Oliveros INTA. 2016;54:137–43.
26. Wu T, Li J, Wu C, Shi Sun, Mao T, Jiang B, et al. Analysis of the independent-and interactive-photo-thermal effects on soybean flowering. Journal of Integrative Agriculture. 2015;14(4):622–32.
27. Parra-coronado A, Fischer G, Chaves-Cordoba B. Tiempo térmico para estados fenológicos reproductivos de la feijoa *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Acta Biológica Colombiana. 2015;20(1):163–73.