

Artículo original

Variabilidad del rendimiento en cultivares de soya (*Glycine max* L.). Parte I. Época de frío

Ing. Osmany Roján-Herrera^{1*}

Dr.C. Lázaro A. Maqueira-López¹

Dr.C. Walfredo Torres-de la Noval¹

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

* 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. Se utilizaron cuatro cultivares de soya (DV-5, DVN-6, DT-84, D-2101), los cuales se sembraron en tres fechas de siembra diferentes (diciembre 2011, enero 2012 y diciembre 2012), correspondientes a la época de frío, sobre un suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso Petroférrico. El objetivo fue evaluar la variabilidad del rendimiento en cultivares de soya (*Glycine max* (L.) Merrill), asociados a variables meteorológicas según fecha de siembra en la época de frío. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas, y se evaluó el rendimiento agrícola y sus componentes, además de variables meteorológicas (temperaturas, radiación solar, humedad relativa), en diferentes etapas fenológicas del ciclo del cultivo. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, los mayores valores de rendimiento agrícola se corresponden con los valores más altos de temperatura y radiación solar (diciembre 2012), alcanzando un mejor resultado el cultivar D-2101 con un valor de 2,31 t ha⁻¹. Los componentes más asociados al rendimiento fueron el número de vainas/plantas y el número de granos/plantas para las tres fechas de siembra en general. De las variables climáticas evaluadas, las que más influyeron en las distintas fases fueron la temperatura y la radiación solar.

Palabras clave: variables meteorológicas, fenología, granos

Recibido: 04/06/2018

Aceptado: 05/12/2018

INTRODUCCIÓN

La soya (*Glycine max* (L.) Merrill) es la oleaginosa más cultivada y el cuarto grano más producido después del maíz, trigo y arroz. En el mundo se producen un promedio de 176,6 millones de toneladas de soya al año sobre una superficie de 75,5 millones de ha ⁽¹⁾, conformando el 80 % de este volumen los Estados Unidos, Argentina y Brasil, lo que explica que América sea el continente con mayor producción a nivel mundial con el 85,32 %, seguido por Asia que representa el 12,78 % ⁽²⁾. Por otra parte, a pesar de que en Cuba se conoce la soya desde inicios del siglo XX, aún no se ha podido estabilizar su producción, pues se siembran alrededor de 20 000 ha que solo logra satisfacer el 35 % de la demanda nacional, lo que obliga al país a importar unas 600 000 toneladas anuales ⁽³⁾.

Sin embargo, la soya está sujeta a muchos estreses abióticos que reducen su rendimiento ⁽⁴⁾, al igual que la mayoría de los cultivos económicamente importantes. Para que se puedan alcanzar rendimientos estables en el tiempo o bien incrementarlos es importante tener en cuenta la interacción entre los genotipos y el ambiente (clima, suelo y prácticas de manejo), ya que cualquier variable que produzca efectos sobre el medio va a verse reflejada en la productividad del cultivo ⁽⁵⁾. En trabajos realizados con el fin de abordar la estabilidad del rendimiento en diferentes cultivares de soya, se ha determinado que aún en sistemas sustentables de alta producción, hay gran variabilidad del mismo. Por lo tanto, para alcanzar elevados rendimientos se requiere seleccionar aquellos cultivares que presenten una elevada productividad media (adaptación) y conocer su probable variación entre ambientes (estabilidad) ⁽⁶⁾.

De igual modo, existen diversas investigaciones a nivel mundial que evalúan la incidencia del clima en relación con la fecha de siembra ⁽⁷⁾. Este aspecto es importante a señalar, debido a que la mayoría de las variables meteorológicas, como las temperaturas y la radiación solar, afectan el crecimiento y desarrollo de los cultivos positiva o negativamente, a la vez que modifican su entorno y alteran la producción tanto de materia seca como del rendimiento ⁽⁸⁾.

En correspondencia con los criterios anteriores, es necesario el conocimiento de los principales factores que causan variabilidad en el rendimiento del cultivo de la soya, por lo que el presente trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar la variabilidad del rendimiento en cultivares de soya (*Glycine max* (L.) Merrill), asociados a variables meteorológicas según fecha de siembra en la época de frío.

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; diciembre 2011, enero 2012 y diciembre 2012, correspondientes a la época de frío.

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 Petroférico. 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 H ₂ O	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	Na ⁺⁺	K ⁺	P ₂ O ₅	MO
	cmol kg ⁻¹ Suelo				Mg 100 g ⁻¹ de suelo	%
6,49	7,01	3,13	0,16	0,23	20,47	2,72

Las principales características de los cultivares en estudio se presentan en la Tabla 2 ⁽³⁾, 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 ⁽¹⁰⁾. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos (los cultivares) y tres réplicas. Las parcelas experimentales contaron con un área 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

En la Figura 1 se registra la 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, los cuales fueron obtenidos de la Estación meteorológica de Paso Real de San Diego, en Los Palacios.

La sumatoria térmica o grados día acumulados (GDA) fue calculada por el siguiente método ⁽¹¹⁾:

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

Donde en este caso se seleccionó como temperatura base a 10 °C 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, siempre respetando el área de borde y fueron determinados:

- Rendimiento agrícola ($t \text{ ha}^{-1}$, ajustado al 14 % de humedad) (Rto).
- Número de vainas por planta (No vainas).
- Número de granos por planta (No granos).
- Masa de mil granos (Masa 1000).

Para determinar el rendimiento agrícola se cosecharon 8 m² del centro en cada parcela experimental, se trillaron las plantas y se secaron los granos hasta alcanzar el 14 % de humedad. En cuanto al número de granos y número de vainas, se contabilizó el valor de cada variable en las diez plantas por parcela.

Se caracterizaron climáticamente las tres fechas de siembra a través de un análisis de componentes principales con dichas variables, dividiendo el ciclo del cultivo en tres períodos: V_e - R_1 , etapa de prefloración e inicio de la floración; R_1 - R_5 , etapa reproductiva temprana en la cual se establecen la mayoría de los frutos y comienzo del llenado de las semillas, y la tercera etapa es R_5 - R_7 , período de llenado de las semillas ⁽¹²⁾.

Las medias de las variables evaluadas obtenidas por cultivar y fecha de siembra, se sometieron a análisis de varianza (ANAVA), y las diferencias significativas entre las medias se determinaron con el test de LSD de Fisher ($p < 0,05$). Varias matrices de datos fueron construidas las cuales se procesaron por la técnica multivariada de Componentes Principales, mediante la representación de un Biplot. Se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 2015 ⁽¹³⁾.

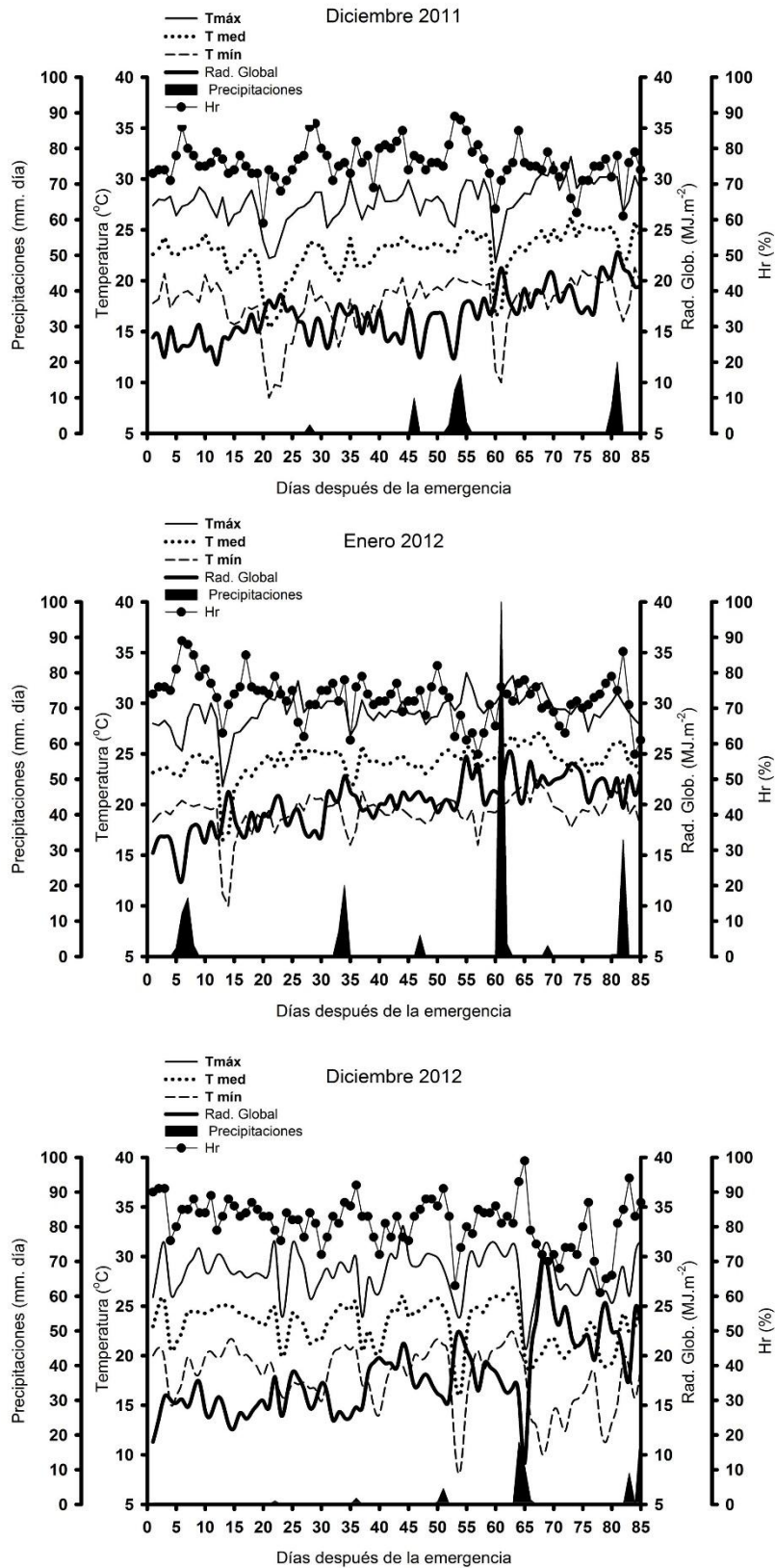


Figura 1. Temperaturas (máxima, media, mínima), precipitaciones, radiación solar global y humedad relativa, tomada de la Estación Agrometeorológica de Paso Real de San Diego, durante el período que duraron los experimentos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del rendimiento agrícola aparecen en la Figura 2, observándose una variación entre fechas de siembra y entre cultivares, por lo que se comprobó que es difícil establecer un patrón de comportamiento a partir del papel que juega la interacción con las condiciones meteorológicas, a la hora de definir este indicador para un cultivar determinado.

En las fechas de enero y diciembre 2012 los cultivares (DVN-5, DT-84, D-2101) alcanzaron el mejor comportamiento, con diferencias estadísticamente significativas con respecto a la siembra de diciembre 2011. El cultivar DVN-6 mostró diferencias en el comportamiento de esta variable entre fechas; sin embargo, DT-84 fue el de menor rendimiento en la fecha de diciembre 2011.

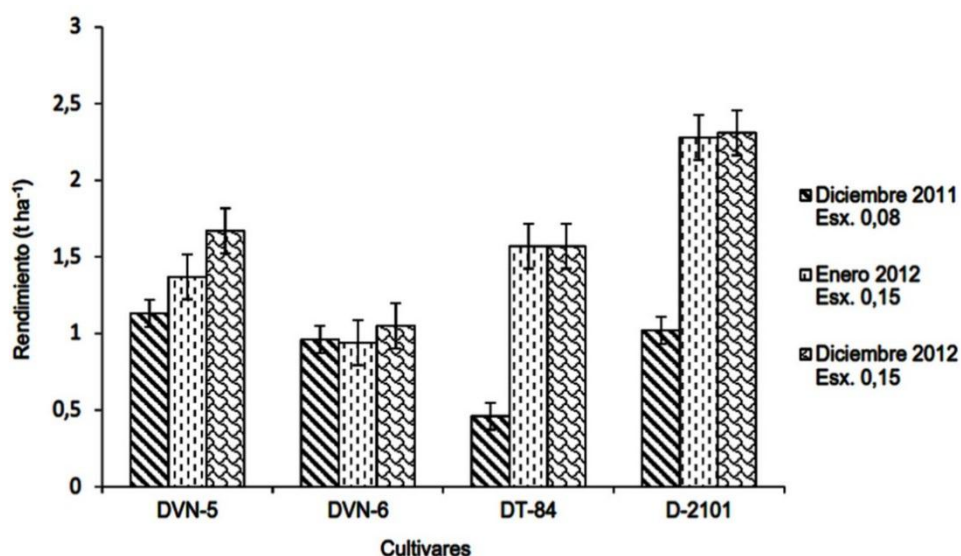


Figura 2. Rendimiento agrícola ($t\ ha^{-1}$) al 14 % de humedad de los cultivares de soja sembrados en las tres fechas en estudio

Esta variabilidad de los cultivares en distintas fechas de siembra puede estar relacionada a la respuesta de estos al comportamiento de las variables meteorológicas, las cuales juegan un papel fundamental en la productividad del cultivo⁽¹⁴⁾. Al respecto cabe destacar que las temperaturas en las fechas de diciembre y enero 2012 (Figura 1), fueron relativamente superiores a las de diciembre 2011, por lo que este resultado corrobora lo planteado por algunos autores, donde afirman que el rendimiento en el cultivo de la soja se ve influenciado durante todo el ciclo por las temperaturas⁽¹⁵⁾.

También, otros estudios realizados con el fin de explicar la variabilidad del rendimiento en el cultivo de la soja, basan su principio en que las variaciones en los rendimientos de este cultivo puede ser consecuencia de la diferente disponibilidad de radiación⁽¹⁶⁾. Esto puede ser la causa de que el cultivar DT-84, a pesar de ser recomendado para la época de frío (Tabla 2), muestre los menores valores del rendimiento en diciembre 2011, ya que en esta fecha donde se registraron los valores más bajo de

radiación solar (Figura 1). En Cuba los rendimientos agrícolas varían significativamente entre las épocas y fechas de siembra ⁽¹⁰⁾. En este sentido, trabajos realizados en otros cultivos demuestran que el rendimiento se relaciona positiva y linealmente con la fecha de siembra, dependiendo del cultivar y el ambiente ⁽¹⁷⁾.

Al analizar el comportamiento de los principales componentes del rendimiento (Tabla 3), se pudo evidenciar las diferencias de estas variables, tanto entre cultivares como entre fechas de siembra. En cuanto a la masa de los granos, los cultivares alcanzaron los valores más altos en la fecha de diciembre 2011 y más bajo en las fechas de enero y diciembre 2012, dónde se muestran los mejores rendimientos. Esta contradicción que existe entre el rendimiento y sus componentes puede estar dada por el carácter compensatorio que tienen determinados cultivos en aumentar la masa de sus granos cuando resulta bajo el número de vainas y granos. (18).

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

Diciembre 2011			
Cultivares	No. vainas	No. granos	Masa 1000
DVN-5	16,3-26,3	20,2-30,8	192,9-236,1
DVN-6	18,4-28,4	21,0-31,6	151,3-194,5
DT-84	10,2-20,2	11,6-22,2	184,7-227,9
D-2101	20,4-30,4	27,6-38,2	166,1-209,3
Esx.	2,55*	2,68*	11,00*
Enero 2012			
Cultivares	No. vainas	No. granos	Masa 1000
DVN-5	30,6-40,6	35,7-52,1	137,7-152,7
DVN-6	27,8-37,8	21,9-38,3	132,2-147,2
DT-84	18,4-28,4	38,4-54,8	151,9-166,9
D-2101	33,3-43,3	58,4-74,8	150,5-165,5
Esx.	2,57*	4,2*	3,84*
Diciembre 2012			
Cultivares	No. vainas	No. granos	Masa 1000
DVN-5	25,7-36,5	35,8-58,4	163,9-190,9
DVN-6	17,0-27,8	19,4-42,0	147,2-174,2
DT-84	24,7-35,5	39,5-62,1	130,8-157,8
D-2101	35,9-46,7	68,8-91,4	118,3-145,3
Esx.	2,73*	5,79*	6,9*

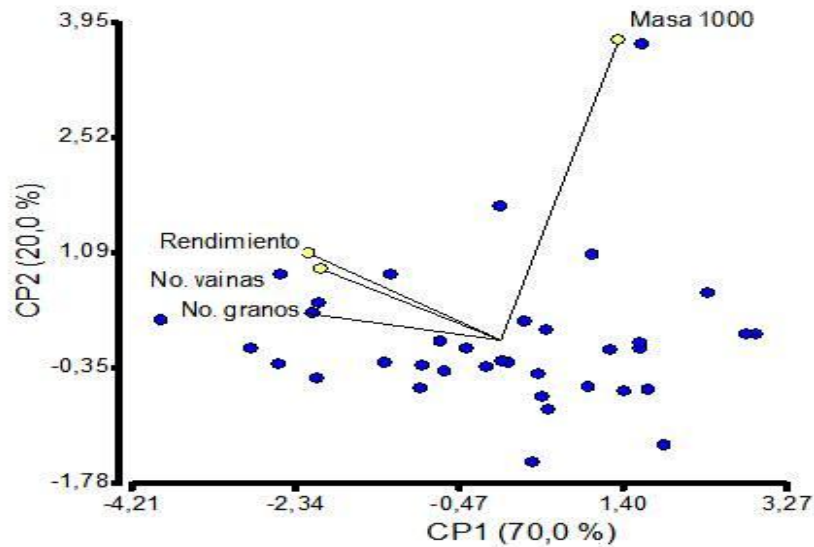
Intervalo de confianza al 95 % de probabilidad calculado a partir de la media teniendo en cuenta el error experimental del análisis de varianza

Con respecto al número de granos, los cultivares alcanzaron la mejor respuesta en las fechas de siembra donde se obtuvieron los valores más altos del rendimiento, por lo que este componente debió alcanzar

un papel fundamental en la determinación del rendimiento agrícola. Algunos estudios han demostrado que en un amplio rango de condiciones agronómicas, el número de granos es el componente que mejor explica las variaciones en el rendimiento ⁽¹⁹⁾. Por otra parte, al realizar el análisis de los cultivares de manera independiente, es posible resaltar que en las tres fechas de siembra el cultivar D-2101 alcanzó la mejor respuesta de esta variable, y además, coincide con el alto valor del rendimiento alcanzado en las condiciones edafoclimáticas en que se desarrollaron estos ensayos. Resultados similares han sido alcanzados en otros estudios en Cuba, donde se demuestra el excelente comportamiento de este cultivar en esta época ⁽³⁾.

El comportamiento en el número de vainas fue similar al alcanzado en el número granos, por lo que pudiera ser un elemento importante en la formación del rendimiento, aunque algunos autores lo identifican como un componente indirecto del rendimiento ⁽¹⁵⁾. Al respecto, en la literatura se destaca que el número de vainas es el primer componente a definirse en la etapa R₃-R₄, y como el número de granos y la masa de los mismos, queda sujeto a las fluctuaciones ocurrentes en el ambiente, de ahí la importancia de hacer coincidir la etapa dónde se deciden estos componentes con las mejores condiciones ambientales, aunque sea difícil de manejar en la práctica ⁽²⁰⁾. Además, la soya tiene capacidad para fijar estructuras reproductivas por un largo período ⁽²¹⁾, demostrándose en este estudio que una eventual disminución en el número de vainas puede ser parcialmente compensada por un aumento en la masa de los grano. Esto es importante siempre y cuando se señale que cada componente es afectado con distinta intensidad por el ambiente en cada etapa de desarrollo.

A partir de los resultados en cuanto a la asociación del rendimiento agrícola y sus componentes, se resolvió que las más influyentes fueron el número de granos/planta y el número de vainas/plantas, vistas de forma general para las tres fechas de siembra estudiadas. Esto se demuestra en el análisis de componentes principales, donde las componentes 1 (CP1) y 2 (CP2), explicaron un 90 % 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

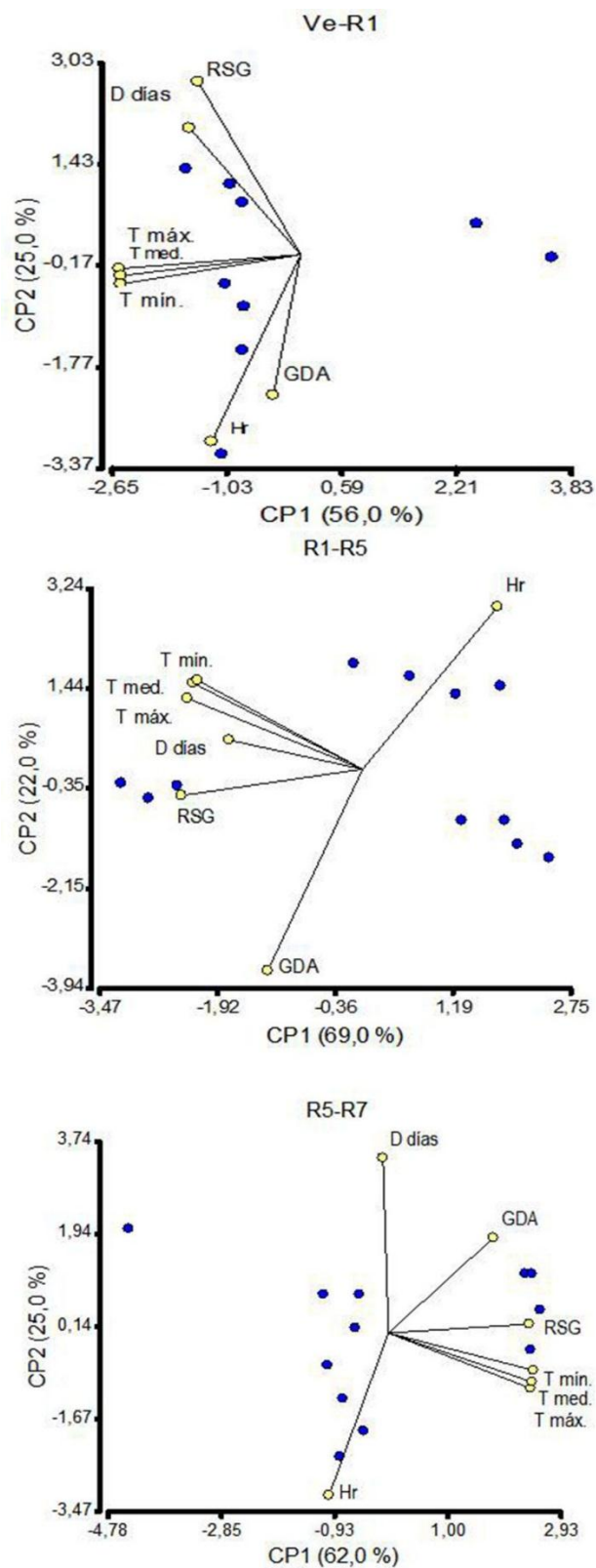
Figura 3. Asociación del rendimiento agrícola de los cultivares de soya con de las variables obtenidas sobre el primer y segundo componente en las tres fechas de siembra estudiadas

La masa de los granos tuvo una alta separación angular respecto al número de granos, número de vainas 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. Otros autores estudiaron la asociación positiva y significativa del rendimiento y sus principales componentes, donde pudieron confirmar que el número de granos y el número de vainas son los componentes que más se asocian a la expresión del rendimiento ⁽²²⁾. Este tipo de análisis fue seguido con tal acierto que quedó demostrado una vez más en estudios realizados a cultivares de soya de diferentes grupos de madurez ⁽¹⁶⁾. Por tanto, todo esto demuestra la posibilidad que distintos genotipos puedan alcanzar rendimientos similares o distintos en un mismo ambiente, y que un genotipo pueda tener distintos rendimientos en distintos ambientes ⁽⁵⁾, sobre todo por la influencia que pueda ejercer el comportamiento de las variables meteorológicas en las etapas fenológicas donde se decidan cada uno de los componentes.

La duración de las etapas fenológicas explica parcialmente la generación de los componentes morfológicos del rendimiento, por tanto, al analizar la asociación entre las diferentes variables meteorológicas con 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 $Ve-R_1$ (5-30 días después de la emergencia), la asociación más positiva con la duración en días fue alcanzada por la radiación solar. Esto puede contribuir a que se estimule el

crecimiento de la planta por una mayor disponibilidad de radiación solar. Al respecto, algunos autores afirman que una mayor eficiencia de intercepción de radiación en esta etapa, estimula una mayor tasa de crecimiento del cultivo que se traduce en un incremento en el número de nudos, y por ende en el número de vainas y en el rendimiento ⁽²³⁾. Sin embargo, el alto número de vainas que lograron los cultivares estudiados en las fechas de siembra de enero y diciembre 2012, coincide con los mayores valores de radiación solar que esta etapa llegó a alcanzar.



D días: duración en días (días). GDA: grados días acumulados ($^{\circ}\text{C}$). RSG: radiación solar global ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$). T mín: temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$). T med: temperatura media ($^{\circ}\text{C}$). T máx: temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$). 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

Por otra parte, la asociación más clara a la duración en días en la etapa fenológica R₁-R₅ (30-45 días después de emergencia), estuvo dada por la radiación solar y las temperaturas. Esto debe estar relacionado con el hecho de que en la fecha de diciembre 2011, se hayan obtenido un bajo número de granos, ya que la temperatura media en esta etapa (etapa donde se decide el número de granos), mantuvo valores por debajo de los 25 °C. se ha planteado en la literatura que los cultivares de soya pueden presentar un comportamiento diferente en cuanto a las temperaturas, sin embargo, algunos resultados han mostrado que, para aumentar el número de granos por unidad de superficie, se necesitan temperaturas medias diarias superior a los 26 °C (6,24). Sin embargo, otros autores plantean que estrés por temperaturas al final del período crítico del cultivo (R₅), (superiores a 30 °C), pueden modificar la estabilidad de las células de las membranas, lo cual afecta varios procesos metabólicos, en particular la fotosíntesis y la respiración celular ⁽²⁵⁾, a la vez que podrían generar una disminución en la masa de los granos ⁽⁶⁾.

Acerca de la asociación de la radiación solar con la duración en días de esta etapa, algunos estudios destacan la importancia que tiene la influencia de la misma durante el periodo crítico del cultivo (R₁-R₅), convirtiéndose en una característica relevante debido a que el ambiente de producción durante esta etapa, condiciona la tasa de crecimiento del cultivo, determinándose el número de granos como componente principal del rendimiento ⁽²⁶⁾. El fundamento de esta hipótesis data en que la radiación solar tiene una alta asociación positiva con el número de granos/m² ⁽¹⁵⁾.

En cuanto a la fase R₅-R₇, no existió asociación alguna con las variables estudiadas, por lo que en este caso no es posible establecer un patrón de comportamiento. Al respecto existen contradicciones en muchos estudios, ya que algunos autores plantean que la tasa de desarrollo luego de R₅ resulta más afectada por el fotoperiodo que por los cambios en la temperatura y radiación ⁽²³⁾. Sin embargo, otros autores manifiestan que las condiciones prevalecientes en cuanto humedad, temperatura y radiación solar son de vital importancia en esta fase, pues los cultivares de alto número de granos combinan estas variables de manera diferente, determinando distintas estrategias fisiológicas igualmente exitosas ⁽²⁷⁾. También se establece que la temperatura generalmente tiene una influencia positiva en la proporción de desarrollo de la cosecha, lo que significa que todas las cosechas y todas las fases de desarrollo son sensibles a la temperatura ⁽⁶⁾. No puede descartarse que, a partir de estudios que clarifiquen estos aspectos, puedan identificarse nuevos genotipos que permitan realizar un mejor análisis de la relación existente entre la fenología y las condiciones ambientales como factor de variabilidad, abriendo nuevas rutas para incrementar el rendimiento del cultivo de soya.

CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados se puede concluir que los mayores valores del rendimiento agrícola se encontraron en la fecha de diciembre 2012, aunque de manera general el cultivar D-2101 fue el de mejor comportamiento en todas las fechas de siembra estudiadas. El número de granos/planta y el número de vainas/planta fueron los componentes que más influyeron en la expresión del rendimiento. De las variables meteorológicas estudiadas, demostraron ser las más influyentes en la duración de las etapas, la radiación solar en la etapa Ve-R₁, R₁-R₅, y las temperaturas en la etapa R₁-R₅. Las radiación y la temperatura desempeñan un importante papel en la formación del rendimiento, por su influencia en la determinación de la masa y el número de granos. La duración en días de la etapa fenológica R₅-R₇ no estuvo asociada a ninguna de las variables meteorológicas analizadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ramadan EA, Ahmed BB, Hamed TM. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. *Agricultural Sciences*. 2013; 4(5): 249-261.
2. Garcés FR, Ampuño MA, Vásconez MG. Agronomía, producción y calidad de grano de variedades de soya durante dos épocas de cultivo. *Bioscience Journal*. 2014; 30 (2): 717-729.
3. Van BN, Vinh TL, Alemán ML, Hernández BG, Thi VT. La colaboración en el cultivo de arroz, maíz, soya Vietnam-Cuba: Resultados y perspectivas. 1sted.HaNoi, Vietnam: Casa editorial de agricultura; 2015. 198 p.
4. Hernández Y, Soto PN. Salinidad en la soya (*Glycine max* (L.) Merrill) y avances en el estudio de los mecanismos de tolerancia. *Cultivos Tropicales*. 2014; 35(2): 60-71.
5. 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.
6. Khaliliaqdam N. Determination of sensitive growth stages of soybean to photoperiod. *Agriculture Science Developments*. 2014; 3(4): 140-145.
7. Roselló RT. Pocas palabras bastan. Ante el cambio climático la adaptación es vida. La Habana, Cuba: Editorial AMA; 2014. 30 p.
8. Rodríguez J, López E, Tosquy, O. Componentes del rendimiento de frijol negro en diferentes fechas de siembra durante ciclo otoño-invierno en el norte de Veracruz, México. *Biología Agropecuaria Tuxpan*. 2014; 2(3): 266-270.
9. Hernández AJ, Pérez JMJ, Bosch DI, Castro NS. Clasificación de los suelos de Cuba. 1st ed. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015, 93 p.

10. Esquivel MA. El cultivo y utilización de la soya en Cuba. Manual Técnico. Asociación Cubana de Producción Animal. 1997. 56 p.
11. 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, V y R correlacionado con la sumatoria térmica. *Agronomía Costarricense*. 2015; 39(2): 121-129.
12. Fehr W, Cavines C, Burmood D, Pennington J. Stage of development descriptions for soybeans, (*Glycine max* (L.) Merrill). *Crop Science*. 1971; 11(1): 929-931.
13. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat [Internet]. Versión 2015. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat.; 2015. Available from: <http://www.infostat.com.ar/>
14. Huang M, Shan S, Zhou X, Chen J, Cao F, Jiang L, Zou Y. Leaf photosynthetic performance related to higher radiation use efficiency and grain yield in hybrid rice. *Field Crops Research*. 2016; 30(60): 1-7.
15. Martignone R, Enrico J, Bodrero M, Adriani J. Factores asociados con la variabilidad de rendimientos entre grupos de madurez en soya. *EEA Oliveros INTA*. 2010; 39: 36-40.
16. Hernández A, Guerra R, Tobías C, Villalobos E. Evaluación del potencial forrajero de diez cultivares de soya (*Glycine max* (L) Merrill) en Venezuela. *Agronomía Costarricense*. 2013; 37(2): 45-54.
17. Maqueira LA, Torres W, Pérez SA, Díaz D, Roján 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(4): 98-104.
18. Maqueira LA, Torres W, Roján O, Pérez SA, Toledo D. Respuesta del crecimiento y rendimiento de cuatro cultivares de soya (*Glycine max*. (L.) Merrill) durante la época de frío en la localidad de Los Palacios. *Cultivos Tropicales*. 2016; 37(1): 40-47.
19. 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: 137-143.
20. Bing LX, Wang Ch, Jin J, Herbert SJ, Hashemi M. Responses of soybean yield and yield components to light enrichment and planting density. *International Journal of Plant Production*. 2010; 4(1): 1-10.
21. 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): 459-463.
22. Morales EJ, Escalante JAS, López JA. Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). *Universidad y Ciencia*. 2008; 24(1): 1-10.

23. Koester RP, Skoneczka JA, Cary TR, Diers BW, Ainsworth EA. Historical gains in soybean (*Glycine max* Merr.) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. *Journal of Experimental Botany*. 2014; 10: 1-11.
24. Cober ER, Daniel F, Curtis D, Stewart W, Morrison MJ. Quantifying the effects of photoperiod, temperature and daily irradiance on flowering time of soybean isolines. *Plants*. 2014; 3: 476-497.
25. Raeisi S. Prediction of flowering occurrence in soybean in north of Iran. *Teknologi Tanaman*. 2015; 12(2): 392-397.
26. Giménez L. Comportamiento fenológico de diferentes grupos de madurez de soja (*Glicine max.*) en Uruguay. *Agrociencia*. 2007; 11(2):1-9.
27. Rotundo JL, Borrás L, De Bruin J, Pedersen P. Estrategias fisiológicas para la determinación del número de granos en soya. *Field Crops Research*. 2012; 135: 58-66.

Variability of the yield in soybean cultivars (*Glycine max* L.). Part I. Time of cold

Ing. Osmany Roján-Herrera^{1*}

Dr.C. Lázaro A. Maqueira-López¹

Dr.C. Walfredo Torres-de la Noval¹

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

*Author for correspondence. orojan@inca.edu.cu

ABSTRACT

The research was developed in the areas of the Base Technological Science Unit, Los Palacios, Pinar del Río, belonging to the National Institute of Agricultural Sciences. Four soybean cultivars were used (DV-5, DVN-6, DT-84, D-2101), which were sown on three different sowing dates (December 2011, January 2012 and December 2012), corresponding to the cold season, on a Hydromorphic Gley Nodular Ferruginous Petroferric soil. The objective was to evaluate the variability of yield in soybean cultivars (*Glycine max* (L.) Merrill), associated to meteorological variables according to date of sowing in the cold season. A randomized block experimental design with three replications was used, and the agricultural yield and its components were evaluated, as well as meteorological variables (temperatures, solar radiation, relative humidity), in different phenological stages of the crop cycle. Taking into account the results obtained, the highest values of agricultural yield correspond to the highest values of temperature and solar radiation (December 2012), reaching a better result the cultivar D-2101 with a value of 2.31 t ha⁻¹. The components most associated with yield were the number of pods / plants and the number of grains / plants for the three planting dates in general. Of the climatic variables evaluated, the ones that most influenced the different phases were temperature and solar radiation.

Key words: meteorological variables, phenology, grains

Received: 04/06/2018

Accepted: 05/12/2018

INTRODUCTION

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is the most cultivated oilseed and the fourth most produced grain after corn, wheat and rice. The world produces an average of 176.6 million tons of soybeans per year over a surface area of 75.5 million ha ⁽¹⁾, with the United States, Argentina and Brazil accounting for 80 % of this volume, which explains why America is the continent with the highest production worldwide with 85.32 %, followed by Asia, which represents 12.78 % ⁽²⁾. Despite the fact that in Cuba, soy is known since the beginning of the 20th century, it has not yet been possible to stabilize its production, since around 20,000 hectares are planted and only 35 % of the national demand is satisfied that forces the country to import some 600,000 tons per year ⁽³⁾.

However, soybeans are subject to many abiotic stresses that reduce their yield ⁽⁴⁾, as do most economically important crops, because in order to achieve stable yields over time or increase them, it is important to take into account the interaction between genotypes and the environment (climate, soil and management practices). It is possible that any variable that produces effects on the environment in crop productivity will be reflected ⁽⁵⁾. In works carried out in order to address the stability of yield in different soybean cultivars, it has been determined that even in high production sustainable systems; there is great variability of it. Therefore, in order to achieve high yields, it is necessary to select those cultivars that have a high average productivity (adaptation) and to know their probable variation between environments (stability) ⁽⁶⁾.

Similarly, several investigations worldwide assess the incidence of climate in relation to the planting date ⁽⁷⁾. This aspect is important to point out, because most of the meteorological variables, such as temperatures and solar radiation, affect the growth and development of crops positively or negatively, while modifying their environment and altering the production of both dry matter as the yield ⁽⁸⁾.

In correspondence with the above criteria, it is necessary to know the main factors that cause variability in the yield of the soybean crop, so the present work with the objective of evaluating the variability of yield in soybean cultivars (*Glycine max* (L.) Merrill) associated with meteorological variables according to the sowing date in the cold season was developed.

MATERIALS AND METHODS

The experiments were carried out at the Base Scientific and Technological Unit, Los Palacios (UCTB-LP), belonging to the National Institute of Agricultural Sciences, located on the southern plain of Pinar del Río province of, at 22 ° 44 'North latitude. and at 83 ° 45 'West latitude, at 60 m asl, with an approximate slope of 1%. Four soybean cultivars of Vietnamese origin (DVN-5, DVN-6, DT-84, D-

2101) were evaluated, which were sown on three different sowing dates; December 2011, January 2012 and December 2012, corresponding to the cold season.

The soil of the experimental area is classified, according to the New Version of Genetic Classification of Soils of Cuba ⁽⁹⁾, as Hydromorphic Gley Nodular Ferruginous Petroferric. As results of the soil sampling of the experimental area, some properties that characterize its fertility are shown (Table 1).

Table 1. Some properties of the arable layer (0-20 cm) that characterize the fertility of the soil where the experiments were developed

pH H ₂ O	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	Na ⁺⁺	K ⁺	P ₂ O ₅	MO
	cmol kg ⁻¹ soi	l			Mg 100 g ⁻¹ of soil	%
6.49	7.01	3.13	0.16	0.23	20.47	2.72

The main characteristics of the cultivars under study are presented in Table 2 ⁽³⁾, which were sowed by direct seeding at a distance (manual), of 0.70 m between rows and 0.07 m between plants, with a standard of 54 kg ha⁻¹ of seeds. The phytotechnical work was carried out as recommended in the Technical Manual of Soybean Cultivation ⁽¹⁰⁾. An experimental randomized block design was used with four treatments (the cultivars) and three replications. The experimental plots had an area of 30 m².

Table 2. Main characteristics of the cultivars of soybean studied in the experiments

	DVN-5	DVN-6	DT-84	D-2101
Yield (t ha ⁻¹)	3.5-3.0	3.5-3.0	2.5-3.0	2.0-3.0
Number of pods/plant	61-51	60-53	23-47	25-55
Number of grain/plant	121-110	100-89	54-110	70-123
Mass 1000 grains (g)	170.0	173.0	170.0	180.0
Sowing time	Spring-Summer	Spring-Summer	Winter-Spring	Winter-Summer
Cycle (days)	92-100	95-100	90-92	90-95

Figure 1 shows the maximum, minimum and average daily temperature (T max, T min, T ave), precipitation, global solar radiation (RSG) and relative humidity (Hr), from the period in which the experiments lasted, which were obtained from the Paso Real meteorological station of San Diego, in Los Palacios.

The thermal sum or cumulative day degrees (GDA) was calculated by the following method ⁽¹¹⁾:

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

Where in this case was selected as the base temperature at 10 ° C and n the number of days in the period considered.

In each experimental plot at the time of harvest, ten representative plants were taken at random, always respecting the edge area and were determined:

- Agricultural yield ($t\ ha^{-1}$, adjusted to 14% humidity) (Yld).
- Number of pods per plant (Nu pods).
- Number of grains per plant (Nu grains).
- Mass of 1000 grains (Mass 1000).

To determine the agricultural yield, 8 m² of the center were harvested in each experimental plot, the plants were threshed and the grains were dried until they reached 14 % humidity. Regarding the number of grains and number of pods, the value of each variable in the ten plants per plot was counted.

The three sowing dates were climatically characterized through a principal components analysis with said variables, dividing the crop cycle into three periods: Ve-R1, pre-flowering stage and beginning of flowering; R1-R5, early reproductive stage in which most of the fruits are established and seeds begin to fill, and the third stage is R5-R7, period of seed filling ⁽¹²⁾.

The means of the evaluated variables obtained by cultivating and date of sowing, were subjected to analysis of variance (ANOVA), and the significant differences between the means were determined with the Fisher LSD test ($p < 0.05$). Several matrices of data were constructed which were processed by the multivariate technique of Principal Components, by means of the representation of a Biplot. The statistical package InfoStat version 2015 was used ⁽¹³⁾.

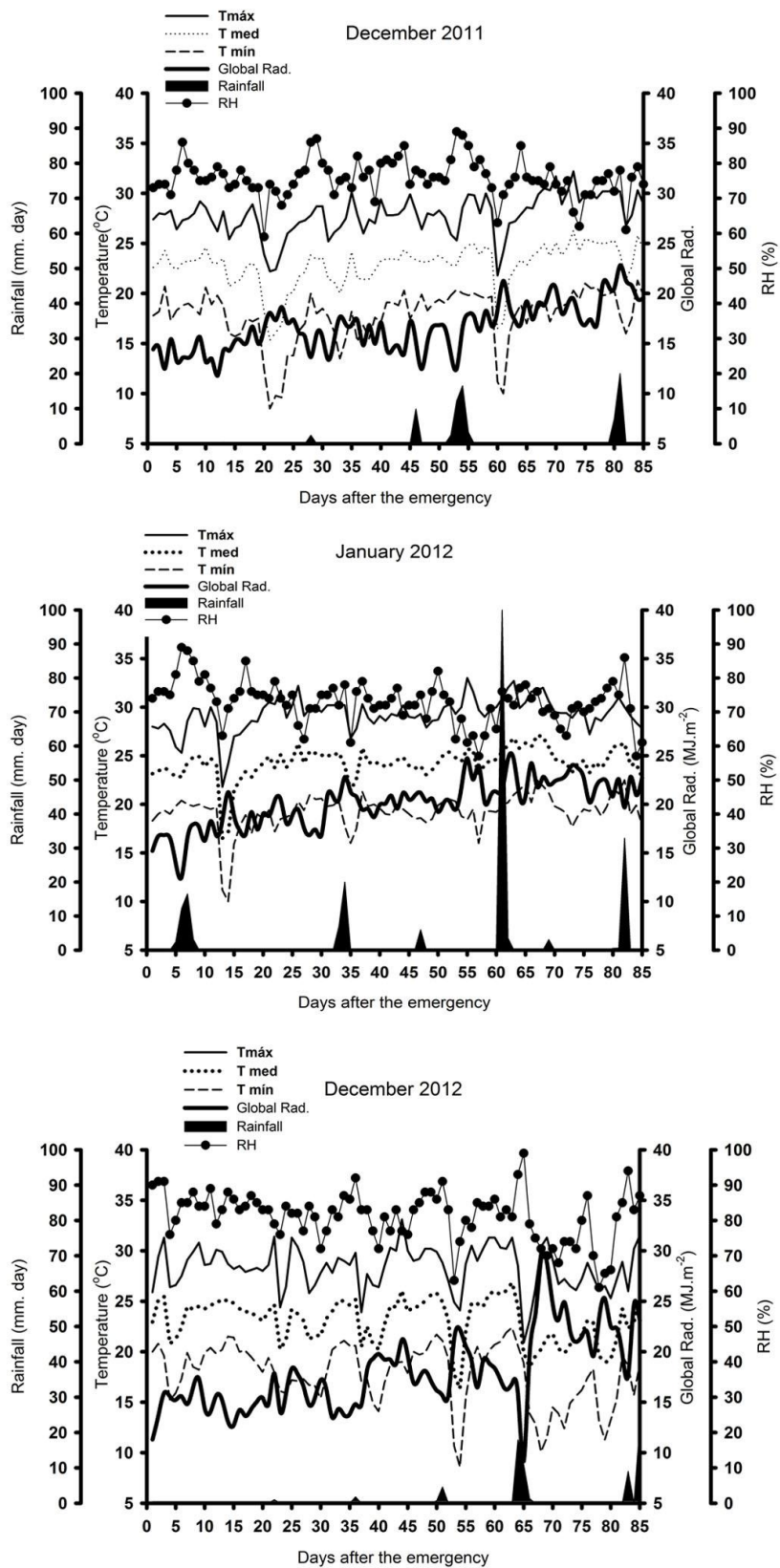


Figure 1. Temperatures (maximum, average, minimum), rainfall, global solar radiation and relative humidity, taken from the Paso Real Agrometeorological Station of San Diego, during the period of the experiments

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the agricultural yield appear in Figure 2, observing a variation between dates of sowing and between cultivars, so it was found that it is difficult to establish a behavior pattern from the role played by the interaction with weather conditions, to the time to define this indicator for a particular cultivar.

On the dates of January and December 2012 the cultivars (DVN-5, DT-84, D-2101) reached the best performance, with statistically significant differences with respect to the sowing of December 2011. The cultivar DVN-6 showed differences in the behavior of this variable between dates, however, DT-84 was the lowest performance on the date of December 2011.

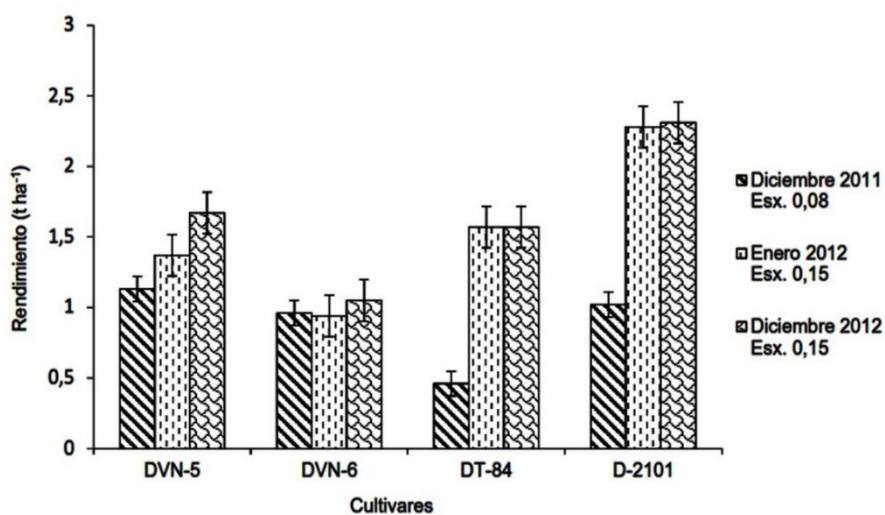


Figure 2. Agricultural yield ($t\ ha^{-1}$) at 14 % humidity of soybean cultivars sown in the three dates under study

This variability of the cultivars in the different sowing dates can be related to the response of these to the behavior of the meteorological variables, which play a fundamental role in the productivity of the crop⁽¹⁴⁾. In this regard, it should be noted that the temperatures on the dates of December and January 2012 (Figure 1), were relatively higher than those of December 2011, so this result corroborates what was stated by some authors, where they affirm that the yield in the cultivation of soybeans are influenced during the whole cycle by temperatures⁽¹⁵⁾.

Also, other studies carried out with the purpose of explaining the variability of yield in soybean cultivation, base their principle on the fact that variations in the yields of this crop may be a consequence of the different availability of radiation⁽¹⁶⁾. This may be the reason why the cultivator DT-84, despite being recommended for the cold season (Table 2), shows the lowest yield values in December 2011, since on this date where the lowest values were recorded of solar radiation (Figure 1). In Cuba,

agricultural yields vary significantly between seasons and sowing dates (10). In this sense, works carried out in other crops show that the yield is positively and linearly related to the sowing date, depending on the cultivar and the environment (17).

Also, other studies carried out with the purpose of explaining the variability of yield in soybean cultivation, base their principle on the fact that variations in the yields of this crop may be a consequence of the different availability of radiation (16). This may be the reason why the cultivator DT-84, despite being recommended for the cold season (Table 2), shows the lowest yield values in December 2011, since on this date where the lowest values were recorded of solar radiation (Figure 1). In Cuba, agricultural yields vary significantly between seasons and sowing dates (10). In this sense, works carried out in other crops show that the yield is positively and linearly related to the sowing date, depending on the cultivar and the environment (17).

When analyzing the behavior of the main components of yield (Table 3), it was possible to demonstrate the differences of these variables, both between cultivars and between sowing dates. Regarding the mass of the grains, the cultivars reached the highest values on the date of December 2011 and lower on the dates of January and December 2012 where the best yields are shown. This contradiction that exists between the yield and its components can be given by the compensatory character that certain crops have in increasing the mass of their grains when the number of pods and grains is low (18).

Table 3. Behavior of the main yield components of soybean cultivars in the different sowing dates studied

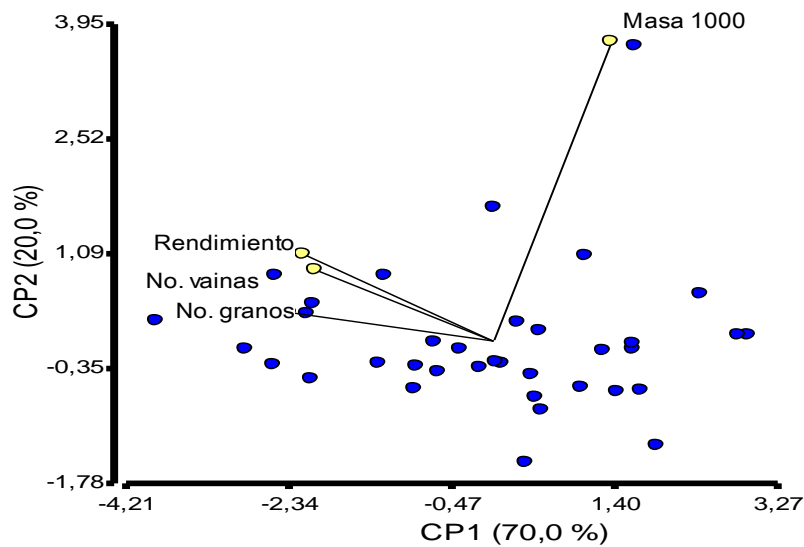
December 2011			
Cultivars	Nu. pods	Nu. grains	Mass 1000
DVN-5	16.3-26.3	20.2-30.8	192.9-236.1
DVN-6	18.4-28.4	21.0-31.6	151.3-194.5
DT-84	10.2-20.2	11.6-22.2	184.7-227.9
D-2101	20.4-30.4	27.6-38.2	166.1-209.3
Esx.	2.55*	2.68*	11.00*
January 2012			
Cultivars	Nu. pods	Nu. grains	Mass 1000
DVN-5	30.6-40.6	35.7-52.1	137.7-152.7
DVN-6	27.8-37.8	21.9-38.3	132.2-147.2
DT-84	18.4-28.4	38.4-54.8	151.9-166.9
D-2101	33.3-43.3	58.4-74.8	150.5-165.5
Esx.	2.57*	4.2*	3.84*
December 2012			
Cultivars	Nu. pods	Nu. granos	Mass 1000
DVN-5	25.7-36.5	35.8-58.4	163.9-190.9
DVN-6	17.00-27.8	19.4-42.0	147.2-174.2
DT-84	24.7-35.5	39.5-62.1	130.8-157.8
D-2101	35.9-46.7	68.8-91.4	118.3-145.3
Esx.	2.73*	5.79*	6.9*

Confidence interval calculated to 95 % of probability using the mean and having into account the experimental error of variance analysis

With respect to the number of grains, the cultivars reached the best responses in the sowing date where the highest value of yield were achieved for this reason this component should have a main role in the determination of agricultural yield. Some studied has showed that a wide range of agroeconomic conditions, the number of grains is the best component that explain the yield variations ⁽¹⁹⁾. On the other hand, when analyzing the cultivars independently, it is possible to highlight that in the three sowing dates the cultivar D-2101 reached the best response of this variable and it coincided with the highest value of yield reached in edaphoclimatic conditions where these experiments took place. Similar results in other studies in Cuba have been obtained where an excellent behavior of this cultivar during this season ⁽³⁾. The behavior in the number of pods was similar to the number of grains that is an important element in the formation of yield, although some authors identify it like an indirect component of yield ⁽¹⁵⁾. In literature is highlighted the number of pods is the first component to define in the R₃-R₄ stage. As the number and mass of grains is in correspondence with the fluctuations in the environment from this the importance of making to coincide the stage, in which these components with the best environmental conditions although it will be hard to manage at practice are decided ⁽²⁰⁾.

Besides, soy has the capacity to fix reproductive structures for a long time ⁽²¹⁾, showing in the study that an eventual decreasing in the number of pods can be balanced partially, for an increasing in the grain mass. It is important if each component could be affected with different intensity for the environment of each development stage.

From the results related to the association of agricultural yield and its components, it was determined that the most influent were the number of grains/plant and the number of pods/plants, in general form to the three sowing dates studied. It is presented in the analysis of main components where the components 1 (CP1) and 2 (CP2) explained 90 % of the total variability (Figure 3).



Mass 1000: mass of 1000 grains (g). Yield: Agricultural yield (t ha⁻¹). Nu. grains: Number of grains per plants. Nu. pods: Number of pods per plants

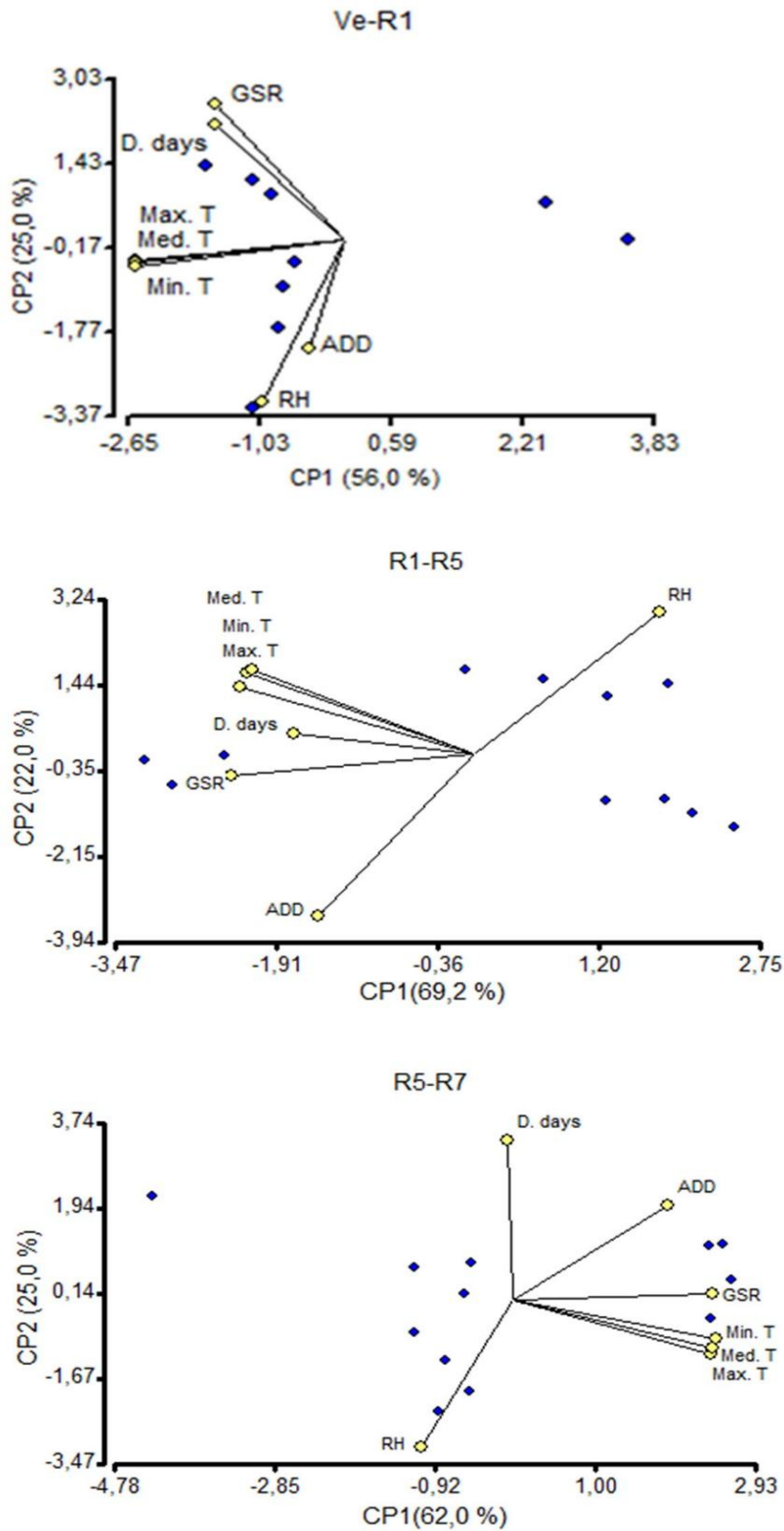
Figure 3. Association of the agricultural yield of soy cultivars with the obtained variables on the first and second component in the three sowing dates studied

The mass of the grains had a high angular separation respect to the grain and pod number and yield. It indicates that under these conditions while increase the number of pods and grains decrease mass of the same ones and vice versa, what it is appreciable again the compensatory level among these variables. Other authors studies the positive and significant association of yield and its main components where it could be to appreciate that the number of grains and pods are the components, which are associated to yield ⁽²²⁾. This type of analysis was exposed in soy cultivars one more time in studies, of different maturity groups ⁽¹⁶⁾. Furthermore, all this offer the possibility of many and different genotypes can reach similar yields in the same environment, and a genotype can have different yields in different environments ⁽⁵⁾, overall for the influence that can exerted in the behavior of meteorological variables in the phenological stage where each one of the components are decided.

The duration of phenological stages, explain partially the morphological component generation of yield, then when analyzing the association among the different meteorological variables with the duration in days, in each one of the studied stages for the three sowing dates in general, the existent differences among them (Figure 1)

In the phenological Stages V_e-R_1 (5-30 days after emergence), the most positive association with the duration in days for solar radiation were reached. It should contribute to the stimulation of plant growing for a greater availability of solar radiation.

About this, some authors express that a higher efficiency of the radiation in this stage, stimulate a greater rate of crop growing that can be appreciated in an increasing in the number of nods and then in the number of pods and yield ⁽²³⁾. However, the amount of pods achieved by the cultivars studied in the sowing dates in January and December 2012, coincide with the greater values of solar radiation of this stage.



D days: duration in days (days). GDA: degree accumulate days ($^{\circ}\text{C}$). RSG: global solar radiation ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$). T min: minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$). T med: Mean temperature ($^{\circ}\text{C}$). T max: maximum temperature ($^{\circ}\text{C}$). Hr: relative humidity (%).

Figure 4. Association of the main meteorological variables with the duration in days of the cultivars of soy in each one of the phenological stage studied for the three sowing dates in general

On the other hand, the clearest association to the duration in days in the phenological stage R1-R5 (30-45 days after emergence), was given by solar radiation and temperatures. This must be related to the fact that on the date of December 2011, a low number of grains was obtained, since the average temperature in this stage (stage where the number of grains was decided), kept values below the 25 °C. It has been suggested in the literature that soybean cultivars may exhibit a different behavior in terms of temperatures, however, some results have shown that, in order to increase the number of grains per unit area, average daily temperatures higher than the average 26 ° C ^(6,24).

However, other authors state that stress by temperatures at the end of the cultivation critical period (R5) (higher than 30 °C) can modify the stability of the cells of the membranes, which affects several metabolic processes in particular photosynthesis and cellular respiration ⁽²⁵⁾, at the same time that they could generate a decrease in the mass of the grains ⁽⁶⁾.

About the association of solar radiation with the duration in the days of this stage, some studies highlight, the importance that have the influence of the same during the critical period of crop (R1-R5), close to the association of solar radiation with the duration in days of this stage. Some studies highlight the importance of the influence of the same during the critical period of the crop becoming a relevant characteristic because the production environment during this stage , conditions the growth rate of the crop, determining the number of grains as the main component of yield ⁽²⁶⁾. The basis of this hypothesis is that solar radiation has a high positive association with the number of grains / m² ⁽¹⁵⁾.

As for phase R5-R7, there was no association with the variables studied, so in this case it is not possible to establish a pattern of behavior. There are contradictions in many studies, since some authors suggest that the rate of development after R5 is more affected by the photoperiod than by changes in temperature and radiation ⁽²³⁾. However, other authors state that the prevailing conditions in terms of humidity, temperature and solar radiation are of vital importance in this phase, since cultivars with a high number of grains combine these variables in different ways, determining different physiological strategies that are equally successful ⁽²⁷⁾. . It is also established that temperature generally has a positive influence on the rate of development of the crop, which means that all crops and all stages of development are sensitive to temperature ⁽⁶⁾. It cannot be ruled out that, based on studies that clarify these aspects, new genotypes can be identified that allow a better analysis of the relationship between phenology and environmental conditions as a variability factor, opening new routes to increase crop yield. soy.

About the association of solar radiation with the duration in days of this stage some studies highlight, the importance that have the influence of the same during the critical period of crop (R1-R5),

CONCLUSIONS

Based on the results, it can be concluded that the highest values of the agricultural yield were found on the date of December 2012, although in a general way the cultivar D-2101 was the one with the best performance in all the sowing dates studied. The number of grains / plant and the number of pods / plant were the components that most influenced the expression of yield. From the meteorological variables studied, they proved to be the most influential in the duration of the stages, the solar radiation in the stage Ve-R1, R1-R5, and the temperatures in the stage R1-R5. Radiation and temperature play an important role in the formation of the yield, due to its influence in the determination of the mass and the number of grains. The duration in days of the phenological stage R5-R7 was not associated to any of the meteorological variables analyzed.