

INFLUENCIA DE LA RELACIÓN FUENTE/DEMANDA SOBRE LA SENESCENCIA RETARDADA DEL TALLO DE SOYA

INFLUENCE OF THE SOURCE/SINK RELATIONSHIP ON GREEN STEM SYNDROME IN SOYBEAN

Marco Maidana-Ojeda^{1,2}, Sebastián Vargas-Britez¹,
Mariana B. Fin-Mieres¹ y Guillermo A. Enciso-Maldonado^{2*}

¹Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Campus Universitario Itapúa, sub Campus de María Auxiliadora, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Itapúa, Paraguay. ²Centro de Desarrollo e Innovación Tecnológica. Hohenau, Departamento de Itapúa, Paraguay.

*Autor de correspondencia (gui77eenciso@hotmail.com)

RESUMEN

En los últimos años se ha observado un incremento de plantas con senescencia retardada del tallo de soya (*Glycine max* L. Merr.) en la región sur de Paraguay, sin que se haya estudiado el origen de este fenómeno. Bajo la hipótesis de que la senescencia retardada del tallo de soya está influenciada por la relación fuente/demanda, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la eliminación de vainas sobre la senescencia retardada del tallo de la soya. El experimento se realizó en condiciones de campo en las temporadas 2016/2017 y 2019/2020 en los distritos Tomás Romero y Carlos Antonio López, respectivamente, ambas en el Departamento de Itapúa, Paraguay. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron los porcentajes de retención de las vainas de 0, 20, 40, 60, 80 y 100 %. En inicio de formación de semillas (R5) se cuantificó número de vainas y se eliminaron manualmente de acuerdo con los porcentajes correspondientes a cada tratamiento. Las variables evaluadas fueron el número de hojas retenidas por planta, porcentaje de tallos verdes, porcentaje de vainas verdes, peso de 100 granos, humedad de granos y rendimiento. Al disminuir los niveles de retención de vainas aumentan la cantidad de hojas retenidas, el porcentaje de tallos y vainas verdes y el peso de 100 granos. El rendimiento aumenta con una tendencia cuadrática a medida que se incrementa el porcentaje de vainas retenidas.

Palabras clave: *Glycine max* (L.) Merr., retención de vainas, senescencia retardada del tallo, tallos verdes.

SUMMARY

In recent years there has been an increase in plants with green stem syndrome of soybean (*Glycine max*) in the southern region of Paraguay, without studying the origin of this phenomenon. Under the hypothesis that green stem syndrome of the soybean is influenced by the source/sink relationship, the aim of this study was to evaluate the effect of pod removal on green stem syndrome of the soybean. The experiment was carried out under field conditions in the 2016/2017 and 2019/2020 seasons in the Tomás Romero and Carlos Antonio López districts, respectively, both in the Department of Itapúa, Paraguay. The experimental design used was randomized complete blocks with six treatments and four replications. The treatments were the pod retention percentages of 0, 20, 40, 60, 80 and 100 %. At the beginning of seed formation (R5) the number of pods was quantified and they were manually removed according to the percentages corresponding to each treatment. The variables evaluated were the number of retained leaves per plant, percentage

of green stems, percentages of green pods, weight of 100 grains, grain moisture and yield. As pod retention levels decrease, the number of leaves retained increases, the percentage of green stems and pods and the weight of 100 grains increase. Yield increases with a quadratic trend as the percentage of retained pods increases.

Index words: *Glycine max* (L.) Merr., green stems, green stem syndrome, pod retention.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de soya (*Glycine max* (L.) Merr.) en el Paraguay representa aproximadamente dos terceras partes del PIB agrícola o 12 % del PIB total, siendo el rubro más importante de producción y exportación agrícola del país. Paraguay es el quinto mayor productor mundial, después de Brasil, Estados Unidos, Argentina y China y cuarto mayor exportador de soya, luego de Brasil, Estados Unidos y Argentina, con una producción de 10 millones de toneladas de grano en 3.5 millones de hectáreas y un rendimiento de 2857 kg ha⁻¹ (CAPECO, 2020).

La producción de soya es limitada por factores como el manejo no apropiado del suelo y cultivo, condiciones meteorológicas adversas, presencia de maleza, plagas y enfermedades que afectan el rendimiento y calidad del grano, con el consecuente impacto negativo en la producción y rentabilidad del cultivo (Hartman *et al.*, 2015).

En los últimos años se ha visto en los campos de soya de Paraguay la presencia de tallos con senescencia retardada. La característica principal de la senescencia retardada es la presencia de tallos verdes, los cuales pueden estar acompañados por hojas, pecíolos, vainas y semillas inmaduras con presencia de vainas normales que pueden permanecer verdes o no (Harbach *et al.*, 2016); además, pueden manifestarse otros síntomas como la retención

parcial o total de las hojas, deformación y engrosamiento de hojas restantes, emisión de múltiples yemas foliares o nuevas hojas y de flores en la parte inferior y media y vainas cortas con un solo grano (Rosbaco *et al.*, 2013). Se ha propuesto que el retraso de la senescencia del tallo se debe tanto a factores abióticos como estrés ambiental, temperaturas elevadas durante la formación de granos, deficiencias hídricas antes de floración (Tuttolomondo *et al.*, 2015), aplicaciones de plaguicidas o por factores bióticos como la alimentación por parte de insectos, infección por virus o fitoplasmas o por la interacción de factores bióticos y abióticos, aunado al ambiente y al genotipo (Harbach *et al.*, 2016); además, este fenómeno ocurre también por alteraciones en la fuente/demanda en plantas de soya (Egli y Bruening, 2006).

Esta anomalía se observó por técnicos, productores e investigadores locales, a partir del ciclo agrícola de soya 2015/2016 en varias parcelas del Departamento de Itapúa, con reducción drástica del rendimiento, retraso de la cosecha, aumento de la humedad y daño mecánico en los granos, generando un desconcierto sobre las posibles causas y por lo tanto sobre la planificación y evaluación de soluciones.

Bajo la hipótesis de que la senescencia retardada del tallo de soya está influenciada por la relación fuente/demanda, el objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de la eliminación de vainas sobre la senescencia retardada del tallo de la soya.

MATERIALES Y METODOS

Se establecieron dos experimentos en condiciones de campo el 6 de octubre de 2016 y el 14 de setiembre de 2019 en Tomás Romero Pereira (26° 31' 52.1" latitud S, 55° 15' 37.6" longitud W y 341 msnm) y Carlos Antonio López (26° 23' 59" latitud S 54° 45' 36" longitud W y 222 msnm), respectivamente, ambas en el Departamento de Itapúa, Paraguay, el cual se encuentra en el sur de la Región Oriental, donde el clima predominante es subtropical húmedo (Cfa) (Peel *et al.*, 2007). En Tomás Romero Pereira se registró una temperatura media de 22.3 °C, humedad relativa de 75.6 % y precipitación total de 788 mm, mientras que en Carlos Antonio López, la temperatura media fue de 24.1 °C, la humedad relativa de 54 % y la precipitación total de 754 mm. El material vegetal utilizado en el primer año fue la variedad Nidera 5909 RG y para el segundo, la variedad DM 62R63; ambas de ciclo indeterminado, con maduración entre 116 y 124 días después de la siembra. Un total de 200 kg ha⁻¹ de la formulación 04-30-10 fueron aplicados en ambas localidades, atendiendo la oferta del suelo y requerimiento del cultivo. La aplicación de pesticidas, para el control de

plagas y enfermedades, se realizó según su incidencia.

El diseño experimental fue bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron parcelas de 1.2 m². La densidad de población fue de 312,500 plantas ha⁻¹. Se dejó un espacio de 0.5 m entre bloques y de 1 m entre tratamientos. Los tratamientos se establecieron en inicio de formación de semillas (R5), cuantificando el número de vainas de cada planta en cada unidad experimental y posteriormente eliminándolas manualmente hasta obtener 0, 20, 40, 60, 80 y 100 % de vainas retenidas. Se evaluaron las siguientes variables: a) número de hojas retenidas (NHR) al momento de madurez fisiológica: se cuantificó el total de hojas retenidas de todas las plantas de cada unidad experimental, se obtuvo un promedio por unidad experimental y se expresó en hojas por planta, b) porcentaje de vainas y tallos verdes al momento de la madurez fisiológica: se cuantificaron las vainas y tallos verdes sobre el total de vainas y tallos de cada planta por unidad experimental, c) peso de 100 semillas (PCS) en gramos, d) contenido de humedad del grano, utilizando un humidímetro digital y e) rendimiento: después del corte y trilla en forma manual se pesaron los granos con una balanza de precisión de 1 g con capacidad de hasta 5 kg y se expresó en kg ha⁻¹, con un ajuste de la humedad de grano a 14 %.

Se aplicó análisis de varianza (ANOVA) a las variables registradas y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para cada año. Las variables con diferencias significativas se ajustaron a una ecuación de regresión y se determinó el coeficiente de determinación (R^2). Ambos análisis se realizaron empleando el paquete estadístico de SAS 9.0 (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza reveló diferencias significativas para el número de hojas retenidas (NHR) y el porcentaje de tallos verdes en ambos experimentos (Cuadro 1), así como para los tratamientos en el porcentaje de vainas verdes, peso de 100 semillas (PCS) y rendimiento, excepto en la humedad del grano, que sólo mostró diferencias significativas en el segundo experimento (Cuadro 2). El NHR disminuyó gradualmente en función del incremento del porcentaje de vainas retenidas, ajustándose a una regresión cuadrática (Figuras 1A y 1B). La eliminación de vainas en plantas de soya afecta el equilibrio fuente/demanda, provocando una mayor concentración de asimilados en hojas retenidas cuando la planta alcanza la madurez fisiológica (Odeleye *et al.*, 2004).

El porcentaje de tallos verdes fue afectado por el porcentaje de vainas retenidas (Figuras 1C y 1D). La

Cuadro 1. Hojas retenidas y porcentaje de tallos verdes en plantas de soya con diferentes niveles de retención de vainas. Itapúa, Paraguay.

Vainas (%)	Tomás Romero Pereira 2016/2017		Carlos Antonio López 2019/2020	
	NHR [†] (hojas/planta)	Tallos verdes (%)	NHR (hojas/planta)	Tallos verdes (%)
0	43 a	100 a	70 a	100 a
20	29 b	97 a	50 ab	96 a
40	17 c	91 a	30 bc	74 b
60	5 d	76 ab	15 cd	45 c
80	3 d	51 b	11 cd	32 c
100	1 d	14 c	1 d	25 c
DSH (0.05)	10.14	26.81	22.57	22.41
CV (%)	26.87	16.35	33.30	15.71

[‡]Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). [†]NHR: número de hojas retenidas.

Cuadro 2. Porcentaje de vainas verdes, peso de 100 granos, humedad y rendimiento de soya con diferentes niveles de retención de vainas. Itapúa, Paraguay.

Vainas (%)	Tomás Romero Pereira 2016/2017				Carlos Antonio López 2019/2020			
	Vainas verdes (%)	PCS [†] (g)	Humedad (%)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Vainas verdes (%)	PCS (g)	Humedad (%)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
20	2.87 a	20.4 a	9.97 a	1663 c	7.93 a	24.3 a	23.90 a	1265 c
40	1.52 ab	19.9 ab	11.19 a	3019 b	2.22 b	23.3 a	18.70 b	1875 bc
60	0.19 b	19.4 ab	11.29 a	4038 a	1.87 b	21.5 b	15.80 bc	2171 b
80	0.85 b	19.0 ab	10.86 a	4062 a	1.07 b	20.8 b	12.20 cd	3535 a
100	0.12 b	18.8 b	10.46 a	4766 a	0.81 b	19.0 c	11.33 d	3984 a
DSH (0.05)	1.83	1.51	1.53	801.70	3.08	1.65	4.26	728.34
CV (%)	73.29	4.07	7.46	11.93	57.96	3.98	11.55	14.83

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). [†]PCS: peso de cien semillas.

diferencia en los modelos entre ambos experimentos puede deberse a que se utilizaron genotipos distintos. Egli y Bruening (2006) observaron que al eliminar las vainas de soya en R6, los tallos se mantuvieron verdes por más tiempo que los tallos de las plantas de control; además, demostraron que los tallos verdes tenían mayores concentraciones de azúcares solubles, almidón y nitrógeno, lo que sugiere que los tallos verdes eran el resultado de la absorción de agua por las raíces y los fotosintatos de las hojas en respuesta al desarrollo de vainas de reemplazo.

El porcentaje de vainas verdes en madurez fisiológica se redujo a medida que aumentó el nivel de retención de vainas. Éste fue decreciendo a partir del tratamiento con 60 % de las vainas, siendo el porcentaje de vainas verdes muy próximo a 0 % cuando las plantas tenían el 100 % de vainas (Figuras 1G y 1H). Lo anterior indica que las vainas, además de ser fotosintéticamente activas (Rolletschek *et al.*, 2005), pueden acumular también fotoasimilados,

cuando la cantidad de granos es reducida debido a la escasa retención de vainas.

El PCS y el porcentaje de vainas en las plantas se asociaron con $R^2 = 0.40$ en Tomás Romero Pereira y con $R^2 = 0.87$ en Carlos Antonio López (Figuras 1E y 1F), donde la tendencia es que a menor porcentaje de vainas retenidas el PCS aumenta. Estos resultados concuerdan con los de Peluzio *et al.* (2001), quienes observaron que con la remoción de vainas aumenta el PCS, debido a que en esta etapa la soya no puede generar nuevas vainas para compensar el desequilibrio en la relación fuente/demanda; por lo tanto, hay una mayor acumulación de fotoasimilados en los granos, permitiendo un mayor peso. Según Rosbaco *et al.* (2013), la ocurrencia del tallo verde en madurez indica posibles cambios en la distribución de asimilados, lo cual estaría relacionado de manera directa con la concentración de aceites y proteínas, con la subsecuente alteración en el peso de la semilla.

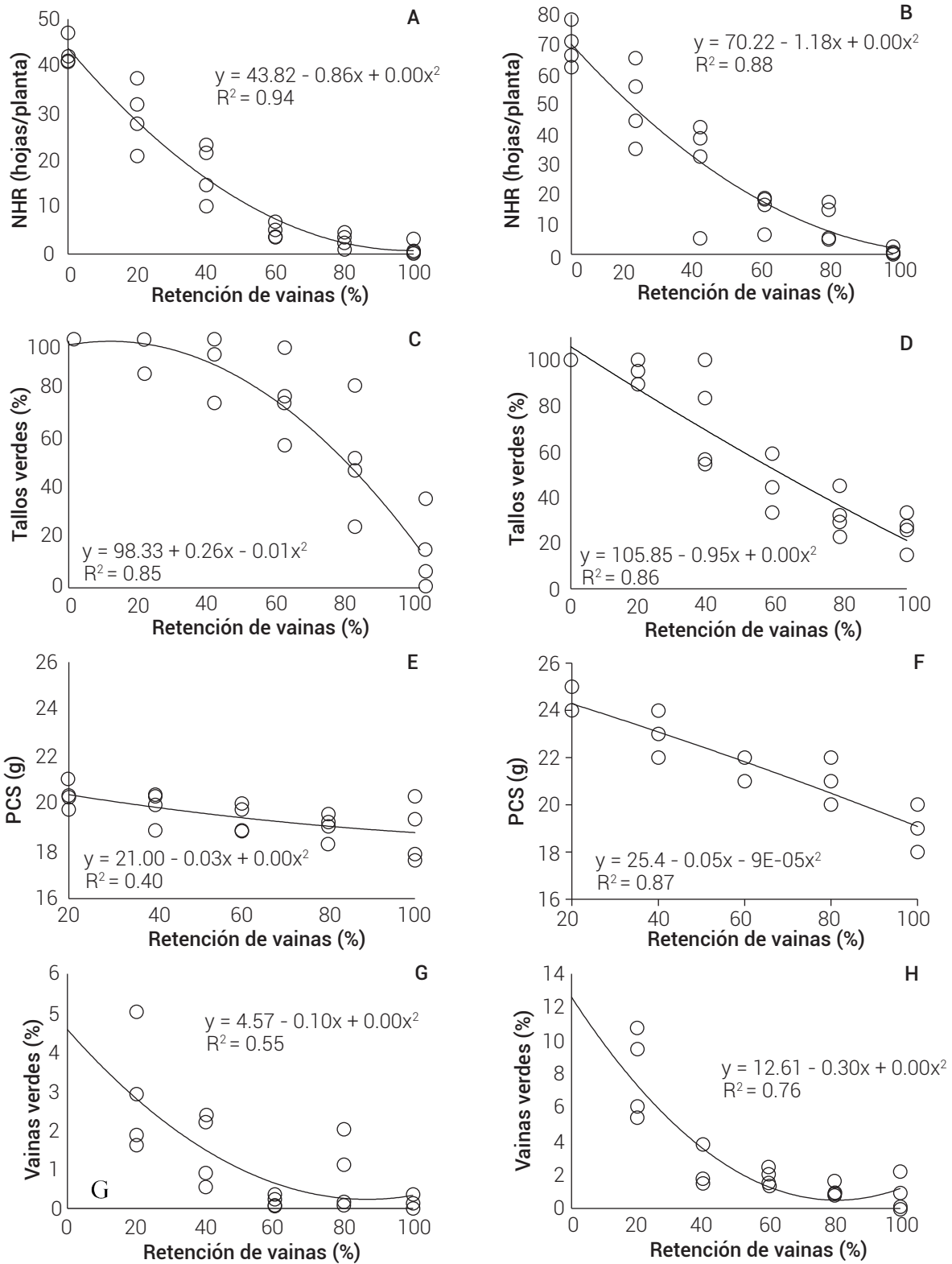


Figura 1. Relación entre el porcentaje de retención de vainas y el NHP (A y B), porcentaje de tallos verdes (C y D), peso de cien semillas (PCS) (E y F), porcentaje de vainas verdes (G y H) en ambos experimentos. Las Figuras A, C, E y G corresponden a Tomás Romero Pereira 2016/2017 y B, D, F y H a Carlos Antonio López 2019/2020.

El mayor rendimiento de granos de soya se observó con 100 % de retención de vainas (Cuadro 2 y Figura 2). El rendimiento de granos es una variable que está fuertemente influenciada por la variación del número de vainas por planta (Egli, 2013), donde la relación es que a mayor número de vainas por planta, mayor es el rendimiento de granos de soya (Balbinot-Junior et al., 2018; Egli, 2013; Vega y Andrade, 2002). Al mismo tiempo, el número de vainas por planta es afectado por la variación del número de flores y nudos por planta (Egli, 2005); por ello, la ocurrencia de un factor de estrés durante las fases reproductivas puede afectar negativamente el número de flores, y consecuentemente, el número de vainas. Peluzio et al. (2001) observaron que la remoción de vainas afecta el rendimiento, excepto cuando la misma se realiza en estadio R4 (vaina de al menos 2 cm en alguno de los cuatro últimos nudos del tallo principal con hoja totalmente desarrollada), lo cual permite a la planta generar nuevas vainas para compensar las removidas, pero la eliminación en R5, como ocurrió en estos experimentos, afecta negativamente el rendimiento (Figura 2), debido a que en esta etapa las vainas no pueden volver a formarse; por lo tanto, de acuerdo con el momento en donde ocurra el estrés, el número de vainas por planta será afectado y no se podrá evidenciar la senescencia retardada del tallo de soya.

Según Harbach et al. (2016), la senescencia retardada del tallo de soya, acompañada por la retención de hojas y vainas verdes, es conocida con el nombre de Síndrome del Tallo Verde, cuyas causas están generalmente asociadas con el estrés de la planta en la etapa de desarrollo de vainas y semillas (Rosbaco et al., 2013), limitando la formación de estructuras reproductivas y alterando la relación con el volumen foliar, dando lugar a un desequilibrio en la relación fuente/demanda, independientemente de su origen biótico o abiótico (Mascarenhas et al., 1988).

La senescencia del tallo verde de la soya se manifiesta por la alteración de la fuente/demanda, independientemente del genotipo. La cantidad de hojas retenidas por planta, el porcentaje de tallos verdes, el peso de 100 semillas y el porcentaje de vainas verdes se incrementan conforme disminuye el número de vainas retenidas, siguiendo una tendencia cuadrática. El rendimiento aumenta con una tendencia cuadrática a medida que aumenta la retención de vainas.

BIBLIOGRAFÍA

- Balbinot Jr. A. A., M. C. N. de Oliveira, J. C. Franchini, H. Debiasi, C. Zucareli, A. S. Ferreira and F. Werner (2018) Phenotypic plasticity in a soybean cultivar with indeterminate growth type. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 53:1038-1044, <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000900007>
- CAPECO, Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (2020) Área de Siembra, Producción y Rendimiento. Asunción, Paraguay, <http://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/> (Febrero 2020)
- Egli D. B. (2005) Flowering, pod set and reproductive success in soya bean. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191:283-291, <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2005.00171.x>
- Egli D. B. (2013) The relationship between the number of nodes and pods in soybean communities. *Crop Science* 53:1668-1676, <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.11.0663>
- Egli D. B. and W. P. Bruening (2006) Depodding causes green-stem syndrome in soybean. *Crop Management* 51:1-9, <https://doi.org/10.1094/CM-2006-0104-01-RS>
- Harbach C. J., T. W. Allen, C. R. Bowen, J. A. Davis, C. B. Hill, M. Leitman, ... and G. L. Hartman (2016) Delayed senescence in soybean: terminology, research update, and survey results from growers. *Plant Health Progress* 17:76-83, <https://doi.org/10.1094/PHP-RV-16-0008>
- Hartman G. L., J. C. Rupe, E. J. Sikora, L. L. Domier, J. A. Davis and K. L. Steffey (2015) Compendium of Soybean Diseases and Pests. APS Press. 5th edition. St. Paul, Minnesota, USA. 201 p.
- Mascarenhas H. A., E. A. Bulisani, M. D. Miranda, N. R. Braga e J. C. V. N. A. Pereira (1988) Deficiência de potássio em soja no estado de São Paulo: melhor entendimento do problema e possíveis soluções. *O Agrônomo* 40:34-43.
- Peel M. C, B. L. Finlayson and T. A. McMahon (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 11:1633-1644, <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Peluzio J. M., R. N. C. Rocha, W. Santana e H. B. Barros (2001) Influência

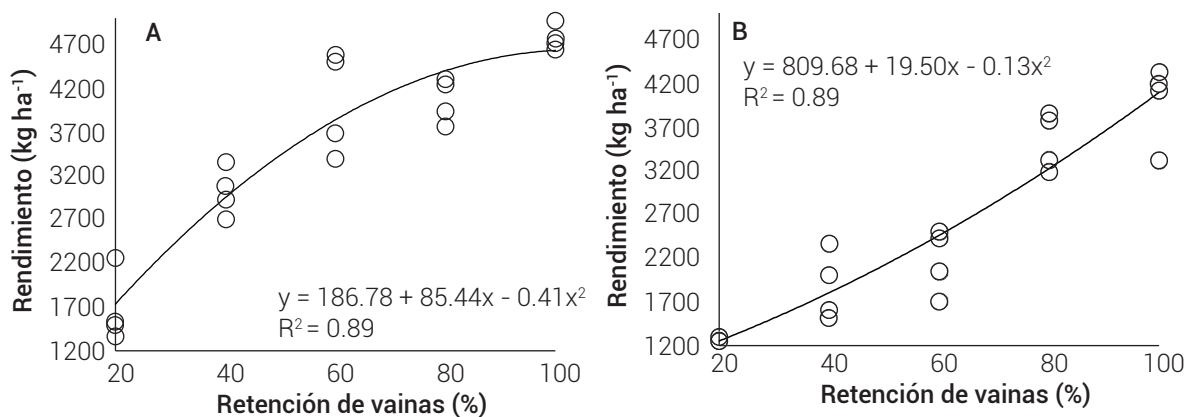


Figura 2. Relación entre el porcentaje de retención de vainas y el rendimiento. La Figura A corresponde a Tomás Romero Pereira 2016/2017 y la Figura B a Carlos Antonio López 2019/2020.

da remoção de vagens sobre os componentes de produção da soja (*Glycine max* (L) Merrill), em Gurupi-TO. *Bioscience Journal* 17:85-96.

Odeleye F. O., A. O. Togun and T. O. Tayo (2004) Effects of depodding and light intensity on soybean (*Glycine Max* (L.) Merrill) in south west Nigeria. *Tropical Agricultural Research and Extension* 7:79-87.

Rolletschek H., R. Radchuk, C. Klukas, F. Schreiber, U. Wobus and L. Borisjuk (2005) Evidence of a key role for photosynthetic oxygen release in oil storage in developing soybean seeds. *New Phytologist* 167:777-786, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01473.x>

Rosbaco I. M., G. D. Tuttolomondo, J. S. Bianchi, D. Marziali y R. A. Martignone

(2013) Síndrome de tallo verde en soja. Su asociación con la densidad de siembra e incidencia en la composición química de la semilla. *Agromensajes* 35:1-5.

SAS Institute (2002) SAS/STAT 9.0 User's Guide. 6th edition. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 112 p.

Tuttolomondo G., I. M. Rosbaco, L. Pebacini y N. Cipollone (2015) Síndrome de tallo verde en soja. ¿Se puede reducir el riesgo de su aparición mediante prácticas de manejo? *Agromensajes* 41:30-36.

Vega C. and F. Andrade (2000) Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. *In: Bases para el Manejo del Maíz, el Girasol y la Soja.* F. H. Andrade and V. O. Sadras (eds.). INTA-Universidad de Mar de Plata. Mar del Plata, Argentina. pp:69-97.