

CINÉTICA DE SECADO DE SEMILLAS DE DOS VARIEDADES DE SOYA (*Glycine max* (L) Merrill)

Michely Vega León¹, Dámaso Castillo Toro², Félix M. Cañet Prades¹, Ramona Molina² y Victoria Obregón².

¹ *Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” INIFAT.*

² *Instituto de Investigaciones del Arroz (IIA)*

RESUMEN

El secado de los granos garantiza la inhibición de los procesos biológicos causantes del deterioro y el almacenamiento seguro. En el sistema productivo de Cuba existe insuficiencia en las capacidades de secado, por lo que el estudio de éste proceso permite mejorar la eficiencia de las instalaciones existentes.

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación de la cinética de secado de semillas de soya variedad Conquista e IGH-24 a nivel de secadero industrial y laboratorio y un estudio de las características físicas y químicas que permitieron explicar científicamente el comportamiento de las variedades durante este proceso. Se encontró que la constante de difusión del agua dentro de las semillas de las variedades estudiadas oscilaron entre $5,9 \text{ (g.min}^{1/2}) \times 10^{-2}$ y $18,8 \text{ (g.min}^{1/2}) \times 10^{-2}$, cuando la temperatura de secado varió de 40°C a 55°C . El estudio físico y químico indicó que el comportamiento diferenciado de las variedades se debe a razones físicas y no químicas, ya que no se encontraron diferencias significativas en la composición química de las variedades estudiadas y las semillas de la variedad IGH-24 cedieron mayor cantidad de agua durante el proceso al presentar menor proporción de masa del epispermo con respecto a la masa de los cotiledones, lo que facilita la difusión del agua hacia el medio. Además el incremento de la temperatura de secado de 40°C a 45°C en las semillas de la variedad Conquista provocó un incremento de 1,32 veces el valor de la constante de difusión, lo que permitió reducir el tiempo de secado de 6 horas a 4,5 horas sin afectaciones en la germinación.

Palabras claves: secado, soya, difusión

SEED DRYING KINETIC OF TWO SOYBEAN VARIETIES (*Glycine max* (L) Merrill)

ABSTRACT

Grain drying assures the inhibition of the biological deterioration processes and safe storage. The Cuban agricultural systems has insufficiencies of drying facilities, therefore it is necessary to evaluate the factors that contributes to improve the efficiency of the crop dryers.

In this paper the results related to the drying kinetic of soybean varieties Conquista e IGH-24 in an industrial crop dryer and in the laboratory essay are presented as well as a study of the physical and chemical characteristic that allowed to explain scientifically the varietal behaviour during this process. It was found that the water diffusion constant of the soybean varieties studied rank from $5,9 \text{ (g.min}^{1/2}) \times 10^{-2}$ to $18,8 \text{ (g.min}^{1/2}) \times 10^{-2}$ when the drying

temperature varied from 40°C to 55°C. The physical and chemical study showed that the differences in the varietal behaviour were due to physical reasons. The seeds of the variety IGH-24 lose more water during the process as the rate seed coat mass/cotyledon mass is lesser than Conquista variety, It facilitates the water diffusion to environment

Furthermore the increase of the drying temperature from 40°C to 45°C increased the drying constants value of Conquista seeds in 1,32 times. As a result, the drying time was reduced from 6 to 4,5 hours, without germination affected.

Keywords: drying, soybean, diffusion.

INTRODUCCIÓN

El beneficio de los granos incluye un conjunto de operaciones que se realizan después de la cosecha, con la finalidad de maximizar la pureza física, el grado de uniformidad, vigor y germinación, aspectos que aseguran la calidad de sus semillas (Aguirre y Peske, 1993). Para lograr este objetivo se debe remover el exceso de humedad y los contaminantes, clasificar y proteger las semillas contra plagas y enfermedades (Ramírez, Ramos y Pérez, 1997).

Como la cosecha de los granos se realiza con niveles de humedad del 15 % al 30 %, el secado es la operación fundamental para garantizar la inhibición de los procesos biológicos causantes del deterioro y de la pérdida de calidad de las semillas.

El comportamiento de las especies de semillas en éste proceso depende de la composición química y estructural.

La soya contiene alrededor del 40,3 % de proteínas, 21 % de grasas, 33,9 % de carbohidratos y 4,9 % de cenizas (Arora, 1983). Los cotiledones poseen abundantes cuerpos proteicos y lipídicos, la cubierta elevados porcentajes de carbohidratos, principalmente celulosa y hemicelulosa y el germen altos contenidos de proteínas y carbohidratos (Perkins, 1995).

El análisis de los carbohidratos indica una mínima existencia de almidón cuando los cotiledones alcanzan el nivel máximo de acumulación de masa seca, confiriéndole características específicas a los procesos termodinámicos que rigen la adsorción y desorción de agua (García, 1998).

Las características estructurales del grano también juegan un importante papel en el secado, ya que pueden constituir impedimentos o facilidades para que el agua salga durante este proceso (Giner y col., 1994 y Bohner, 2003).

En la actualidad, debido a la falta de información sobre secado industrial de la soya de uso actual en Cuba, esta operación se realiza en los Establecimientos Provinciales de Semillas Varias de todo el país, a 32°C, para una humedad de la semilla superior al 18 % y a una inferior, la temperatura de secado puede ascenderse a 39°C como máximo (Ramírez, Ramos y Pérez, 1997), sin considerar la diferencia entre las constantes de difusión de las variedades.

Este trabajo tiene como objetivo estudiar la cinética de secado de dos variedades de soya, así como las características físicas y químicas que permiten explicar científicamente el comportamiento de las variedades durante este proceso, lo que contribuye a incrementar la eficiencia de los secaderos industriales existentes en el país.

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron mediciones de largo, ancho y espesor a grupos de 100 semillas con 3 repeticiones de las variedades Conquista e IGH-24, las que posteriormente fueron sumergidas en agua destilada durante 20 minutos, separándose manualmente el epispermo de los

cotiledones y determinándose la proporción relativa de este, después de secado a masa constante. Se realizó la prueba t-student para comprobar la existencia de diferencias significativas entre las variables medidas.

Para evaluar la composición nutrimental de las semillas se determinó el contenido de humedad siguiendo la técnica oficial de la AOAC, (2000 a), el de proteína bruta según el procedimiento semi-micro de Kjeldhal (AACC, 2000 a), grasas por el método de extracción Soxhlet con solvente éter de petróleo, punto de ebullición 60°C-80°C (AOAC, 2000 b), carbohidratos solubles según la AACC, (2000 b) y calcio (AOAC, 1990).

Para los ensayos de la cinética del secado se tomaron muestras de semilla que fueron sometidas a flujo continuo de aire a temperaturas de 40, 45, 50 y 55 °C, en un secador Brabender, efectuándose mediciones de la cantidad de agua extraída cada 10 minutos hasta que el valor de la masa se estabilizó. Se determinó la constante de difusión del agua dentro del grano (Motarjemi, 1987) y finalmente se aplicó la ecuación de Arrhenius (Guerasimov y col., 1971).

$$\frac{d \ln k}{dt} = \frac{E}{RT^2}$$

La ecuación integrada es: $\ln K = -\frac{E}{RT} + \ln C$ $k = C * e^{-E/RT}$

Para comprobar el efecto de la temperatura de secado en el porcentaje de germinación se utilizaron placas petri y papel de filtro, donde se colocaron 50 semillas, con 3 réplicas y se pusieron en un germinador. El conteo de plantas vigorosas se realizó al 5^{to} día.

La evaluación del proceso de secado industrial se realizó en el secadero “El Tomeguín” perteneciente a la Empresa de Semillas Varias de La Habana. Para conocer el tiempo total de secado de cada lote de semilla procesada en dependencia de la humedad de entrada, se tomaron muestras en 16 lotes, a los cuales se les determinó el contenido de humedad en cada pase de secado hasta niveles de humedad del 13 % al 13,5 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estudios físicos de las semillas de las variedades IGH24 y Conquista demostró que no hubo diferencias significativas en la forma y tamaño de ambas variedades, sin embargo la variedad Conquista presentó una mayor proporción de la masa del epispermo con relación a la masa total de los cotiledones que la IGH-24 (Tabla 1).

Los principales constituyentes químicos de la semilla presentaron pocas variaciones (Tabla 2), manteniéndose dentro de los rangos correspondientes para las variedades cultivadas (Perkins, 1995; García 1998).

Tabla 1. Variables físicas medidas a las semillas de dos variedades de soya cultivadas en la Provincia de La Habana.

	Conquista	IGH-24
Largo	7,2 \pm 0,5	6,8 \pm 0,6
Ancho (mm)	6,4 \pm 0,4	6,0 \pm 0,4
Espesor(mm)	4,9 \pm 0,4	5,0 \pm 0,4
Relación largo/ancho	1,1 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1
Masa del cotiledón (g)	1,30 a	1,22b
Masa del epispermo (g)	0,11NS	0,09NS
Relación Masa epispermo / masa cotiledón *(100)	8,46 a	7,38b

Promedio de 6 réplicas por muestra (N=6).

Tabla 2. Composición química de los granos de dos variedades de soya

Componentes	Variedades de soya			
	Conquista		IGH-24	
	Promedio	C.V. %	Promedio	C.V. %
Humedad (%)	12,4	3,3	12,1	3,3
Proteína (%)	34,7	3,9	34,5	1,5
Grasa (%)	23,2	1,7	24,1	2,6
Cenizas (%)	5,0	1,8	5,0	2,8
Calcio (%)	0,3	16,3	0,3	37,3

Los ensayos de la cinética de secado a altas temperaturas mostraron que los valores de las constantes de difusión del agua a través del grano, de las variedades de soya Conquista e IGH-24 fluctuaron de 5,9 a 18,8 $\text{g}\cdot\text{min}^{1/2} \times 10^{-2}$, en dependencia de la variedad y se incrementaron en forma lineal con el aumento de la temperatura del flujo de aire de secado (Figura 1).

La variedad IGH-24 presentó los mayores valores de esta constante, lo que estuvo asociado con la menor relación masa del epispermo/masa del cotiledón (Tabla 1), en correspondencia con la reportado por Giner y col., (1994) en un estudio comparativo de 25 variedades argentinas de soya y los trabajos de Smith y Circle, (1972), quienes demostraron que ésta relación es una característica genética, que regula el intercambio de agua entre la semilla y el medio que la envuelve.

La constante de difusión de agua en el grano de soya se incrementó linealmente con la temperatura absoluta y se ajustó a la ecuación de Arrhenius (Hougen, 1954). En la Figura 2 se muestra la relación entre la constante de difusión y la temperatura absoluta. Se encontró una alta similitud en las pendientes de las rectas de ajuste de ambas variedades, indicador de que las diferencias en las constantes de difusión obedecen a razones estructurales y no químicas, por lo que se recomienda en el futuro realizar estudios histológicos e histoquímicos sobre el

papel del epispermo en la permeabilidad del epispermo en las variedades de soya cultivadas en Cuba.

Para validar estos resultados se realizaron ensayos de secado en condiciones de producción. En la Tabla 3 se muestran los valores promedios de las variaciones del contenido de humedad de la semilla de las variedades Conquista e IGH-24 sometidas a un flujo de aire a una temperatura de 38 °C 40 °C en un secador industrial.

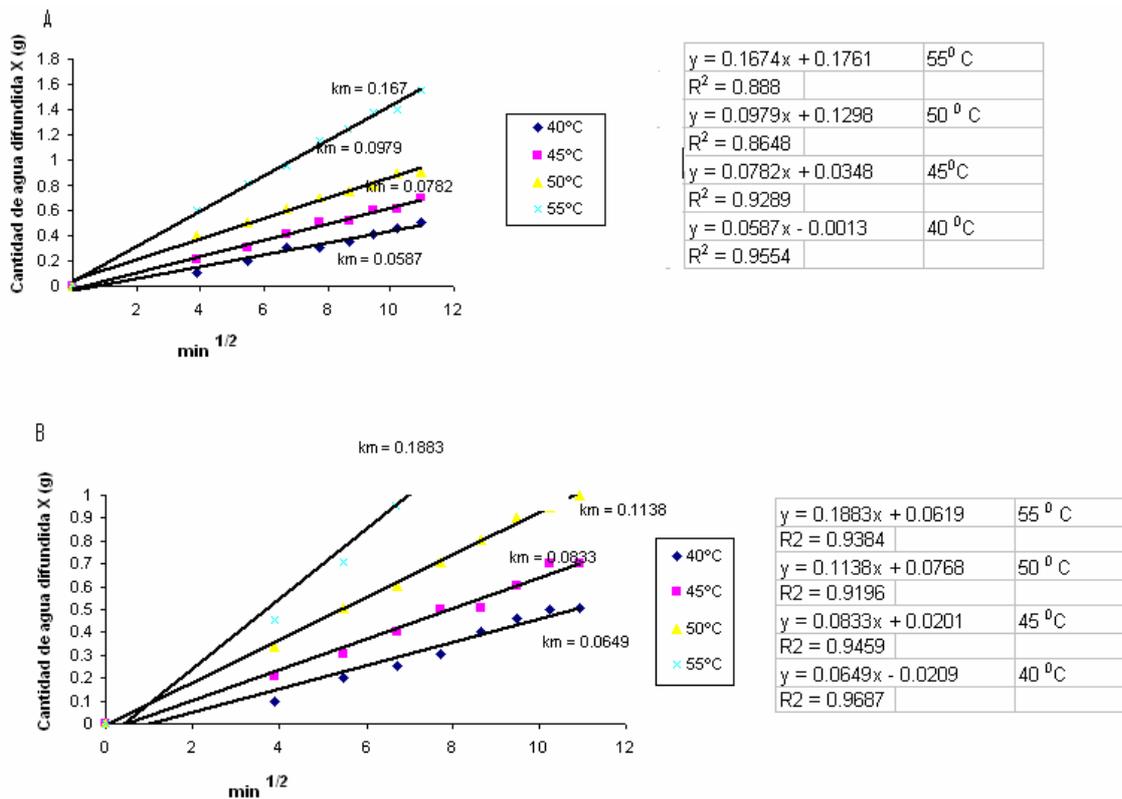


Figura 1. Relación entre la constante de difusión y la temperatura de secado de las variedades A) IGH-24 y B) Conquista.
km: constante de difusión ($\text{g} \cdot \text{m}^{1/2} \times 10^{-2}$)

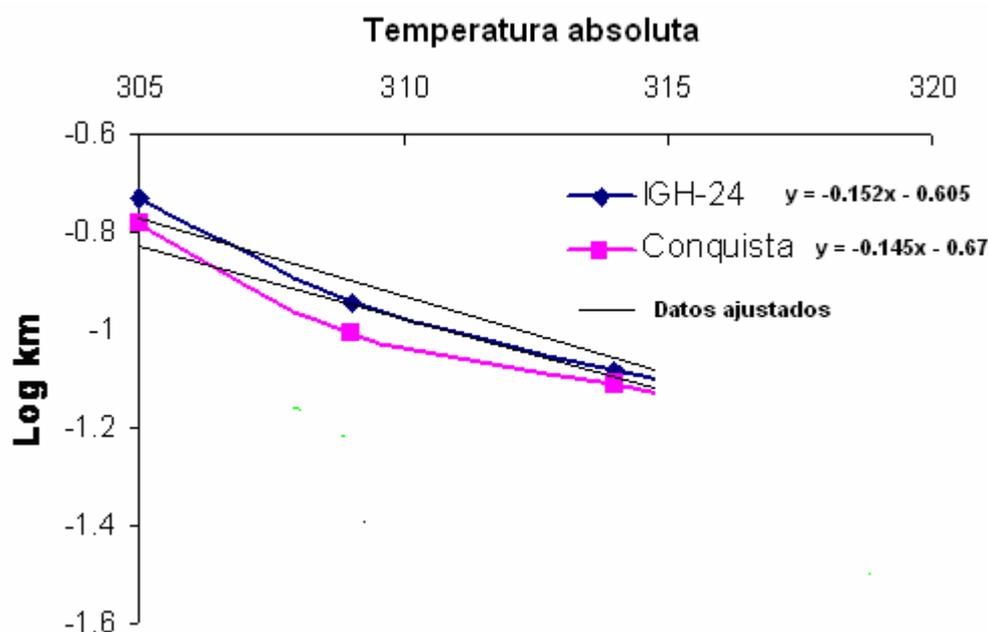


Figura 2. Influencia de la temperatura sobre la constante de difusión del agua en el grano de soya. Ecuación de Arrhenius

Tabla 3. Control técnico del secado industrial de dos variedades de soya con temperaturas de secado de 38-40°C

Variedad	Cantidad de semillas procesada (t)	Humedad bh (%)	P1 (%)	T1 (h)	P2 (%)	T2 (h)	T. total (h)
Conquista	2,8	18,1	16,0	3,0	13,5	3,0	6,0
IGH-24	2,7	18,3	16,0	2,0	13,5	1,8	3,8

P1, P2: Número de pases de secado

T1, T2 y: Duración del tiempo de secado en cada pase

Se encontró que las semillas de la variedad IGH-24 con una constante de difusión durante el proceso de secado de $0,0649 \text{ g}\cdot\text{min}^{1/2}$ requirieron de 3,8 horas para que su contenido de humedad descendiera de 18,3 % a 13,5 % de humedad, mientras que la variedad Conquista con una constante de difusión de $0,0587 \text{ g}\cdot\text{min}^{1/2}$, necesitó 6 horas al mismo régimen de secado para alcanzar el contenido de humedad anterior.

El conocimiento de la constante de difusión es la base para definir la temperatura y el régimen de secado de la variedad; altas temperaturas puede causar la pérdida de viabilidad de la semilla al producirse fracturas internas, cuando la humedad relativa del aire de secado es inferior a 40 %, por este motivo, la temperatura del flujo de aire durante el secado de la soya debe ser inferior a los $60 \text{ }^\circ\text{C}$, aunque para semilla se recomienda una temperatura máxima de $43,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (Wilcke y Morey, 2001), sin embargo Chirnakorn, citado por Pinto y Popinings, (1981) plantea que es posible utilizar secadores que operen con elevado flujo de aire y temperaturas de hasta $54 \text{ }^\circ\text{C}$ por períodos de 3 horas sin causar daños a la germinación cuando la semilla posee valores de humedad del 16 al 18 % bh.

Como complemento a los estudios de cinética de secado de la semilla de soya, se evaluó la influencia de la temperatura del aire de secado sobre la germinación (Figura 3). Se encontró que en ambas variedades al aumentar la temperatura de secado de 40 °C a 45 °C se produjo una disminución del porcentaje de germinación, que en la variedad Conquista se mantuvo dentro del rango permitido para semilla de alta calidad, mientras que en la variedad IGH-24 hubo una disminución significativa del porcentaje de germinación que estuvo asociado con una menor proporción del epispermo con relación a la masa total de la semilla de esta variedad.

Las causas anteriores indican la necesidad de realizar ensayos de viabilidad de la semilla previo al establecimiento de un régimen de secado a altas temperaturas (França y col., 2000; França, 2002 y Mills y Elphinstone, 2005).

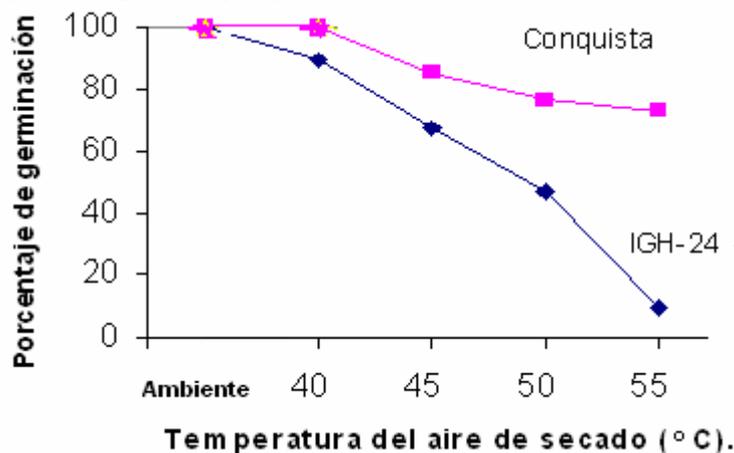


Fig. 3. Efecto de la temperatura de secado sobre la germinación de la semilla de 2 variedades de soya cultivadas en La Habana.

CONCLUSIONES

1. Las constantes de difusión de agua durante el proceso de secado para las variedades de soya Conquista e IGH-24 oscilaron entre $5,9 \text{ (g}\cdot\text{min}^{1/2}) \times 10^{-2}$ y $18,8 \text{ (g}\cdot\text{min}^{1/2}) \times 10^{-2}$, cuando la temperatura de secado varió de 40 °C a 55 °C lo que crea las bases para definir la temperatura de secado en función de la variedad.
2. El incremento de la temperatura de secado 40 °C a 45 °C en las semillas de la variedad Conquista provocó un incremento de 1,32 veces el valor de la constante de difusión, lo que permitió reducir el tiempo de secado de 6 horas a 4,5 horas.
3. Las semillas de la variedad IGH-24 cedieron mayor cantidad de agua durante el proceso al presentar menor proporción de masa del epispermo con respecto a la masa de los cotiledones, lo que facilita la difusión del agua hacia el medio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC, 2000 a. Kjldhal nitrogen approved method 4b-13. American Association of cereal chemists. St. Paul Minnesota. USA.
- AACC, 2000 b. Carbohydrate approved method 4b-10. American Association of cereal chemists. St. Paul Minesota. USA.
- Aguirre, R. y Peske, S.T., 1993. Manual para el beneficio de semillas. Segunda Edición. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, 247 pp.
- AOAC, 1990. Determinaciones de calcio. Método oficial. Asociación Americana de Químicos analíticos.USA.
- AOAC, 2000 a. Asociación Americana de Químicos Analíticos. Association of officials Analytical Chemists. USA.

- AOAC, 2000 b. Método oficial. Determinación de grasa. Método gravimétrico. 900 – 17. Association of Officials Analytical Chemists. USA.
- Arora, S.K, 1983. Chemistry and Biochemistry of legumes. Published in Indian by Oxford and IBH Publishing Co ISBN 0713128542. 219 pp.
- Bohner, H., 2003. Soybean Drying.
http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/soybean_drying.htm. Consultado el 26 de marzo del 2004.
- França N.; Krzyzanowski, F.; Henning, A. y Pereira, N., 2000. Tecnologia da produção de sementes En: EMBRAPA. A cultura da soja no Brasil. Ed. Dourado-Neto, D. Y López, P.P. Publicado por EMBRAPA. Brasil. 22 pp.
- França, N, 2002. Producción de semillas de alta calidad. Seed News. Año VI. (4) 21-23.
- García, A., 1998. La soya en la alimentación humana. Experiencia cubana. Tesis de Doctor en Ciencias. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. La Habana, Cuba 100 pp.
- Giner S.A.; Borrás F.; Robutti J.L. and Añón M.C, 1994. Drying Rates of 25 Argentinian Varieties of Soybean: A Comparative Study [Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie](#), 27 (4) 308-313.
- Guerasimov, YA.; Dreving, V.; Eriorrieu, E.; Kiseliiov, A.; Lebedev, V.; Pancheukov, G. y Shliguin, A., 1971. Curso de Quimicafísica. Tomo II. Editorial Mir. Moscú. 70pp.
- Hougen, O.A.; Watson, K.M. and Ragatz, R.A., 1954. Material and Energy Balance. Chemical process principles. Part I. Second Edition. Madison, Wisconsin. 504 pp.
- Mills, G. y Elphinstone, G., 2005. Coastal soybean cropping guidelines: Bundaberg to Beenleigh. Departmente of Primar industries and Fisheries.
<http://www.dpi.qld.gov.au/fieldcrops/3355.htm>. 10 pp.
- Motarjemi, Y., 1987. Determination of moisture diffusivity in foodstuffs. En Trends in Food Science. Editor ANq How Ghee. Publicado por: Lien Wenze; FooCheck Woo. Eastreco. Ltda Singapore. Proceedings of the 7th World Congress of Food Science and Technology. Past Seven. Physicochemical methods. pags 139-143.
- Perkins, E.G, 1995. Composition of soybean and soybean products. En Practical Handbook of soybean Processing and Utilization AOCS PRESS Champaign, Illinois and United Soybean Board St Louis, Missouri. USA. 584pp.
- Pinto, W. y Popinings, F., 1981. Sementes. En: A soya no Brasil 1981. Editores Shiro Miyasaka y Julio Cesar Medina. Pp 711-714.
- Ramírez, G.; Ramos R. y Pérez G., 1997. Producción y beneficio de soja para semilla. (conferencia) MINAG. Empresa productora de semillas Varias. Ciudad de la Habana. 10 de junio de 1997.
- Smith, A.K., y Circle, S.I., 1972. Soybeans: Chemistry and Technology, Vol.1, Proteins Avi Publishing. 600 pp.
- Wilcke, B, y Morrey, 2001. Soybean Drying, handling and storage.2001. North Dakota State University Agricultural and Biosystems, USA. 6pp.
<http://www.cpes.peachnet.edu/summer/tifton/Grain/harvestsoybean.htm>. Consultado el 21 de enero de 2005.