



ARTÍCULO ORIGINAL

CU-ID: <https://cu-id.com/2284/v12n2e04>

Determinación del tiempo de resistencia a la inundación de la soya (*Glycine max* L. Merr)

*Determination of the flood resistance time of soybean (*Glycine max* L. Merr)*

MSc. Reinaldo Cun-González¹, Dr.C. Julián Herrera-Puebla, Dr.C. Carmen Duarte-Díaz., Dr.C. Felicita González-Robaina, Ing. Reynol Balsinde-Mok, Téc. Orlando Sarmiento-García

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. El trabajo se desarrolló en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola ("Pulido"), ubicada en Alquizar, provincia Artemisa, Cuba. El objetivo general de la investigación fue determinar el tiempo de resistencia a la inundación en el cultivo de la soya variedad CEB-2 en época frío y primavera, determinando el tiempo de drenaje para la proyección de estos sistemas. El cultivo se sembró en macetas con un suelo Ferralítico Rojo compactado, el diseño experimental aplicado fue el de bloques al azar, los tratamientos consistieron en inundar las macetas durante 24, 48, 96 y 144 horas en la fase de inicio de la floración, con un testigo sin inundar. El análisis del rendimiento y sus componentes, en específico el peso promedio de las semillas, facilitó la selección del tiempo de inundación permisible para el cultivo. Los resultados mostraron que en las primeras 24 horas de inundación no se observó efecto del exceso de humedad sobre la producción de granos por lo que este se considera el tiempo de drenaje del cultivo, a partir de este valor umbral hay una reducción entre 0,14 y 0,20% de la producción relativa de granos frescos por cada hora de inundación y se alcanza una pérdida de un 50% aproximadamente entre 67 y 84 horas de exceso de humedad. Las plantas presentaron pérdidas en el peso de las vainas, peso de semillas por plantas, peso de 100 granos cuando fueron sometidas a inundación desde las 24 horas hasta las 144 horas.

Palabras clave: cultivo en maceta, daños productivos, tiempo de drenaje.

ABSTRACT. The work was developed at the Agricultural Engineering Research Institute ("Pulido"), located in Alquizar, Artemisa province, Cuba. The general objective of the research was to determine the flood resistance time in the cultivation of soybean variety CEB-2 in cold season and spring, determining the drainage time for the projection of these systems. The crop was sown in pots with a compacted Red Ferralitic soil, the experimental design applied was that of Random Blocks, the treatments consisted of flooding the pots for 24, 48, 96 and 144 hours in the early flowering phase, with a witness without flooding. The analysis of the yield and its components, specifically the average weight of the seeds, facilitated the selection of the permissible flooding time for the crop. The results showed that in the first 24 hours of flooding, no effect of excess humidity was observed on grain production, so this is considered the drainage time of the crop, from this threshold value there is a reduction between 0,14 and 0,20% of the relative production of fresh grains for each hour of flooding and a loss of approximately 50% is reached between 67 and 84 hours of excess humidity. The plants presented losses in the weight of the pods, weight of seeds per plant, weight of 100 grains when they were subjected to flooding from 24 hours to 144 hours.

Keywords: Container Crops, Productive Damages, Drainage Time.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la soya (*Glycine max* L. Merr), está considerado como uno de los cultivos prioritarios en el Programa de Producción de Granos para la sustitución de importaciones que

lleva a cabo el estado cubano. Teniendo en cuenta la importancia de las producciones para el consumo humano y animal, y los altos precios de la soya a nivel mundial para estos fines es que

¹Autor para correspondencia: Reinaldo Cun-González, e-mail: reinaldo.cun@boyeros.iagric.cu ORCID iD: <https://orcid/0000-0002-5100-7902>

Recibido: 12/05/2021.

Aprobado: 14/03/2022.

se ha indicado dirigir el mayor esfuerzo para cubrir la demanda nacional. Este cultivo tiene dos períodos críticos bien definidos con respecto al requerimiento de agua: desde la siembra a la emergencia, y durante la fase de formación y desarrollo de los órganos reproductivo (floración, formación y llenado de las vainas). Tanto el déficit como el exceso de humedad es perjudicial para la uniformidad de distribución y número de plantas por unidad de superficie. Durante la floración, el exceso de agua es más limitante que el déficit (Salinas *et al.*, 1989)

Está establecido que para la mayor parte de las especies vegetales cultivadas o silvestres, no adaptadas a condiciones de sobre humedecimiento del suelo, el estancamiento del agua en el perfil del mismo pone en riesgo su supervivencia debido a que el exceso de agua en el entorno radicular priva a las raíces del oxígeno necesario para la respiración, propicia condiciones para la reducción de los nitratos en el suelo y afecta otras reacciones metabólicas en la planta, provocando una reducción en su capacidad fotosintética y con ello los rendimientos (Herrera *et al.*, 2011; Jackson *et al.*, 2009; Pérez, 2014). Otro efecto provocado por el mal drenaje es la demora en comenzar a preparar el suelo, ya que al estar inundado no se puede practicar otras labores lo que provoca siembras y cosechas fuera de época (Herrera *et al.*, 2011).

En Cuba, las áreas con suelos afectados por el mal drenaje se estiman en 2,7 millones de hectáreas a lo que hay que agregar más de 1 millón de hectáreas afectadas por la salinización, aunque muchas de estas áreas están dedicadas al cultivo de la caña de azúcar y pastos o forrajes, el 13% de ellas se siembran de cultivos dedicados al consumo humano directo (arroz, frijoles, soya, hortalizas, maíz, etc.) y las mismas dejan de producir (en un año de lluvias normales) alrededor de 633 209 t de alimento (Herrera, 2016). En estas condiciones, las soluciones a este problema se encuentran en la aplicación de técnicas de drenaje superficial.

En el diseño de obras de drenaje superficial se tienen en cuenta tres etapas: el diseño agronómico, el diseño hidrológico y el diseño hidráulico. En el caso del diseño agronómico es de vital importancia la determinación del tiempo de drenaje (Herrera *et al.*, 2011). Se conoce como tiempo de drenaje al tiempo de inundación o sobre humedecimiento del suelo que

un cultivo tolera sin que se reduzcan sustancialmente sus rendimientos, este tiempo está en función del cultivo, del suelo y de las condiciones climáticas.

La Norma Cubana (NC 53-13 1985, 1985), Módulo de Drenaje Agrícola, Método de cálculo, aún vigente, recoge los tiempos de inundación soportables para varios cultivos, pero no incluye la soya. La variedad de soya CEB-2 fue seleccionada para este estudio por ser de nueva creación por parte del CIGB (Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología) y por sus altas potencialidades de ser introducida en la agricultura cubana. Como se apreció anteriormente, no hay referencias nacionales que permitan definir con seguridad el tiempo de drenaje de esta variedad de soya ni su capacidad de respuesta al exceso de humedad en el suelo, por lo que debido a la importancia que esto tiene en el contexto agropecuario cubano actual, el trabajo se realizó con el objetivo de determinar el tiempo de resistencia a la inundación en el cultivo de la soya (CEB-2), y con ello determinar los tiempos de drenaje necesarios para la planificación de las labores de drenaje.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El trabajo se desarrolló en en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (UCTB "Pulido"), situada en el municipio Alquízar, Provincia Artemisa, a los 22° 45' N y los 82° 27' O a 6 m sobre el nivel medio del mar.

Se utilizaron 20 recipientes de latón, Figura 1, con un volumen de 0,1058 m³ los que fueron perforados lateralmente lo más cercano al fondo con diámetro de 25 mm. Se colocó a lo largo del diámetro del mismo un tubo de PVC de 32 mm perforado con orificios de 5 mm, separados a 5 cm y se colocó otro tubo vertical ranurado a un lado de la maceta dejando 10 cm por encima de la superficie del suelo. En el fondo se colocó una capa de grava hasta una altura de 10 cm, posteriormente se rellenaron las macetas con suelo, en este caso Ferralítico Rojo compactado (Cid *et al.*, 2012). El cultivo utilizado fue la soya *Glycine max* (L.) Merrill, variedad CEB-2. Se realizó prueba de germinación a las semillas que alcanzaron un valor de 98% de germinación.

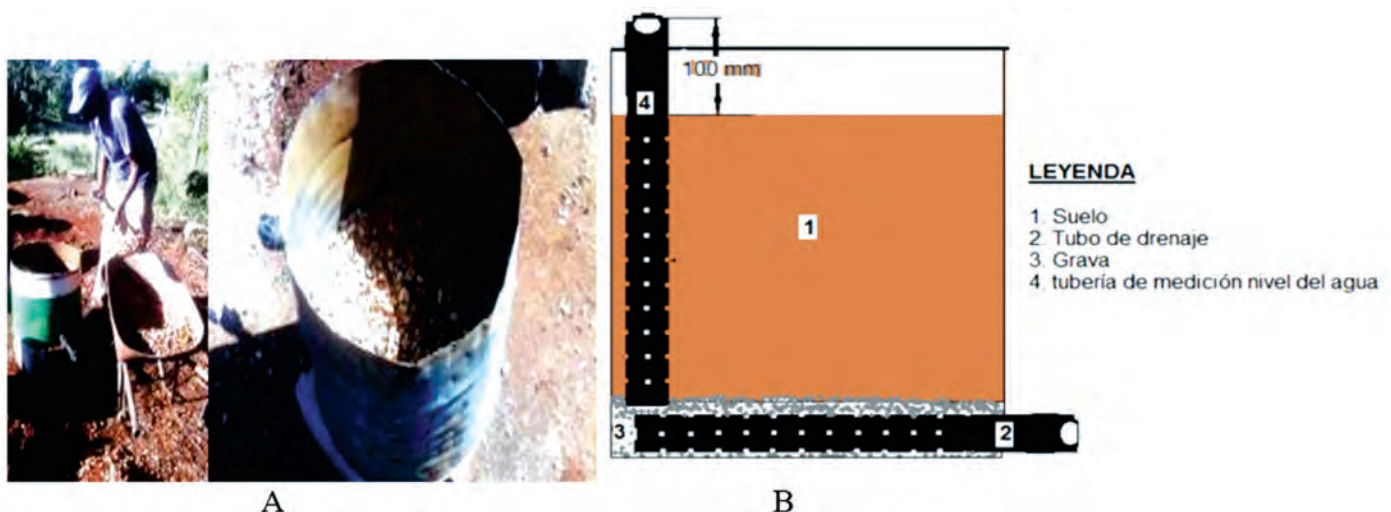


FIGURA 1A. Recipiente de latón preparado con grava. 1B. Esquema de disposición del suelo y el resto de los materiales.

La siembra se realizó ubicando seis semillas separados a 60 mm por maceta a una profundidad de 2 cm (Socorro & Martín, 1989). En el caso de la época de primavera (época 1), se sembró en junio del 2019, cosechándose en octubre 2019 (120 días). En el caso de la época de frío (época 2) se sembró en noviembre del 2019, la cosecha se realizó en febrero 2020 (107 días).

Las precipitaciones fueron medidas mediante un pluviómetro ubicado en la zona de estudio, las distintas variables climáticas registradas en la Tabla 1 fueron promediadas para el período de 1972 al 1990 pertenecientes al sitio experimental.

TABLA 1. Características climáticas (promedio 1972/1990) del periodo experimental

Época de siembra	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)	Temperatura media (° C)	Insolación (h/luz)	Humedad relativa (%)	ET ₀ (Penman-Monteih) (mm/día)
Primavera (abril/agosto)	31,7	22,1	26,9	7,6	77,3	5,5
Frío septiembre / enero	29,4	19,1	24,3	6,6	80,2	3,7

Las atenciones culturales se realizaron según lo planteado en Boletín Técnico para el manejo agronómico en cultivos de interés (Cordero et al., 2010). Es importante aclarar que los cultivos fueron atendidos de forma igual hasta el inicio de la floración, a partir de aquí se inundaron los tanques según los tratamientos, posteriormente fueron atendidos con igualdad de condición.

Los tratamientos se aplicaron cuando las plantas alcanzaron alrededor del 80% del estado de floración, lo cual ocurrió aproximadamente en ambas épocas a los 45 días después de sembrado, lo cual según (Gupta et al., 1992) es un estado muy sensible para el cultivo. Los tiempos de inundación se seleccionaron considerando los resultados obtenidos por (J. L. Marquez, 1985) y por la disponibilidad de macetas para el trabajo. Los tratamientos consistieron en:

- Tratamiento I ----- Testigo (0 Inundación)
- Tratamiento II ----- (24 horas Inundación, 1 día)
- Tratamiento III ----- (48 horas Inundación, 2 días)
- Tratamiento IV ----- (96 horas Inundación, 4 días)
- Tratamiento V----- (144 horas Inundación, 6 días).

Al momento de la inundación se colocó un tapón en el tubo de drenaje para evitar fugas de agua, el cual fue retirado una vez que se consiguió el tiempo de inundación previsto para cada tratamiento. Durante el tiempo de inundación se mantuvo una lámina de agua de 5 cm por encima del nivel del suelo en el recipiente con el objetivo de tener una medida de reposición. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar (Figura 2), con cuatro réplicas en las que los cinco tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron mediciones de altura de las plantas, diámetros de tallo, número de hojas, incidencia de plagas y enfermedades cada 7 días.

Todos los tratamientos fueron regados cuando la humedad del suelo, (medida con sonda electromagnética ML3), según procedimiento descrito por (López et al., 2018), alcanzaba en las macetas el equivalente al 85% de la capacidad de campo del suelo natural.

Al momento de la aplicación de los tratamientos de inundación se midió la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura del agua mediante termómetro, conductímetro (WTW 3310-2CA308) y potenciómetro (WTW 3110-2AA112). En el momento de la cosecha se determinó el rendimiento por tanque

y sus componentes (Número medio de vainas por plantas, peso medio de las vainas por plantas (g), Número medio de semillas por plantas, Peso medio de las semillas por plantas (g), Peso medio (g) de 100 granos).

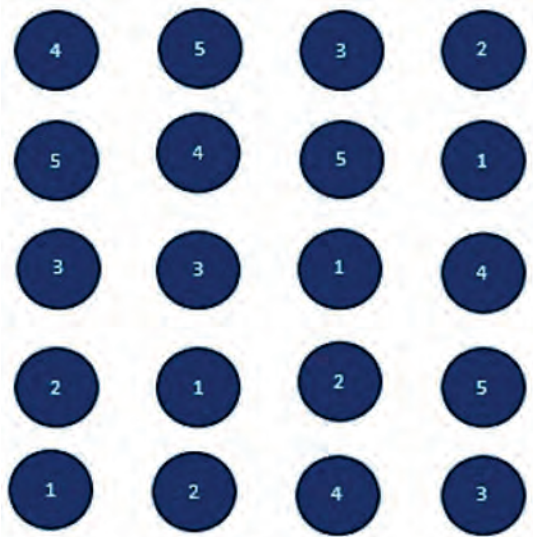


FIGURA 2. Distribución aleatorizada de los tratamientos de inundación en las macetas.

Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias entre las medias de los tratamientos estudiados se determinaron según la prueba de comparación múltiple de Tukey HSD con un 95% de confiabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 recoge la distribución de los riegos y lluvia durante las dos épocas de siembra, estas cantidades no incluyen el agua aplicada para provocar la inundación según los tratamientos.

En la época de primavera fue superior la cantidad media de litros por macetas (6,69 L), debido a que en esta época las temperaturas son mayores por lo que el consumo del cultivo es superior a la época de invierno, se realizaron 20 aplicaciones menos para la primavera debido a la mayor cantidad de lluvias ocurridas y la mayor cantidad de días con lluvia. Estas aplicacio-

nes, en combinación con la lluvia caída permitieron mantener siempre el suelo en las macetas por encima del 85% de la capacidad de campo. Por otra parte, el volumen de agua aplicado a los tanques en el momento de la inundación según los tratamientos, varió entre 45 L y 60 L por cada uno en la siembra de primavera y de 39,5 L a 45,9 L en la siembra de frío.

TABLA 2. Total de agua aplicada como riego o lluvia y su distribución

Época	Litros maceta	Agua aplicada		Lluvia (mm)	Días con lluvia
		Total, ciclo (L)	Nº de riegos		
Primavera (junio/octubre)	6,69	87	13	800,58	67
Frío (noviembre /febrero)	4,87	160,71	33	217,6	12

En la Tabla 3 se puede observar los valores de conductividad eléctrica y pH del agua utilizada para el riego. Según los resultados obtenidos de Ce, el agua utilizada en ambos periodos se clasificó como Categoría I, ya que los valores alcanzados fueron menores de 0,70 dS/m, por lo que no presentan restricciones para su uso. en cuanto al pH, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango permitido para el riego de los cultivos (4,5 a 8,3) según la Norma Cubana (NC 1048 2014, 2014). Estos valores de Ce son característicos de la zona Sur de Artemisa, el agua utilizada para el riego es de origen subterráneo cársica, trabajos realizados por (Cisneros *et al.*, 2020), muestran valores medios de 0,7 dS m⁻¹ a una temperatura de 25°C.

TABLA 3. Algunos parámetros de calidad química del agua de riego

Época	Conductividad eléctrica (Ce), dS/m	pH	Temperatura. °C
Primavera (abril/agosto)	0,664	7,3	26,2
Frío septiembre /enero	0,674	7,2	22,3

Las variables estudiadas del desarrollo del cultivo no mostraron diferencias significativas. Aunque no se compararon estadísticamente las épocas entre sí, en la Tabla 4 se observa diferencias entre el diámetro del tallo (60% superior en la primavera), siendo favorable esta época y la altura de las plantas

fue superior en un 24% en la época de primavera.

La altura alcanzada por las plantas varió entre 52,9 cm (T1) y 61,5 cm (T5) en frío y en primavera entre 69,62 cm (T5) y 75,14 cm (T1). Como podemos observar en la tabla 1, los valores de temperatura para esta zona son superiores en primavera, según (Andrade *et al.*, 2000; Kantolic *et al.*, 2003), los factores ambientales tales como temperatura, fotoperíodo y condiciones hídricas pueden modificar sustancialmente el desarrollo fenológico en el cultivo de la soja siendo la temperatura y el fotoperíodo los principales factores que regulan el desarrollo y determinan cuánto durará cada una de las fases.

Según el análisis estadístico realizado no existen diferencias significativas entre los tratamientos ya que los cultivos fueron atendidos de forma igual hasta el inicio de la floración, a partir de aquí se inundaron según los tratamientos, posteriormente fueron atendidos con igualdad de condición. En cuanto al diámetro de los tallos, no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, los valores medios en primavera variaron entre 1,34 cm (T1) y 1,11 cm (T5), en invierno variaron entre 0,8 cm (T1) y 0,72 cm (T2). De manera general estos valores son típicos de este cultivo y se encuentran dentro de los rangos de diámetro (0,4 cm a 2,2 cm) y altura (15 cm a 200 cm), planteados por (Merino, 2006; Socorro & Martín, 1989). Según estos autores, en las variedades de crecimiento determinado, la altura de las plantas no se incrementa de forma significativa después del inicio de la floración.

TABLA 4. Desarrollo de las plantas hasta el momento de la aplicación de los tratamientos de inundación

Tratamientos	Diámetro del tallo (cm)		Altura de las plantas (cm)	
	Primavera (abril/agosto)	Frío (septiembre /enero)	Primavera (abril/agosto)	Frío (septiembre /enero)
1	1,34	0,8	75,14	52,9
2	1,30	0,72	74,05	61,2
3	1,31	0,75	74,66	58
4	1,27	0,75	72,5	59,2
5	1,11	0,78	69,62	61,5
Promedio	1,26	0,76	73,19	58,56
Sig	N.S	N.S	N.S	N.S
Es	0,034	0,015	0,9938	0,602
CV (%)	12,1386	8,768	6,0720	4,44

CV: Coeficiente de Variación (%), Error Estándar (ES), Significación (Sig).

Como resultado del análisis del rendimiento y sus componentes en primavera e invierno se observa en las Tablas 5 y 6 un comportamiento similar en ambas épocas; es decir el tratamiento testigo T1 (sin inundación) presentó los mayores valores promedios por plantas, disminuyendo a medida en que aumentaron las horas de inundación. En la Tabla 5 se presentan las componentes del rendimiento, el mayor valor del número promedio de vainas por plantas se obtiene en el tratamiento 1 (51,3) y el menor se alcanzó en el tratamiento 5 (47,5). En cuanto peso medio de las vainas por plantas, podemos observar que el mayor valor (3,7 g) se alcanzó en

el tratamiento en que no se inundó (T1) disminuyendo a medida en que aumentaron las horas de inundación hasta llegar a 27,9 g (T5), se observaron reducciones desde un 10% (T3), hasta un 18% (T5) cuando se inundó 144 horas. En el número medio de semillas por plantas no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque el menor valor se observa cuando se inunda hasta las 144 horas (115,3). Por otra parte, el peso medio de las semillas por plantas disminuyó en un 29% a medida que aumen-

taron las horas de inundación, el valor más bajo se alcanzó en el tratamiento 5 (14 g) al inundar las macetas durante 144 horas. No se observan diferencias significativas entre el tratamiento 1 (sin inundación) y el 2 (24 horas de inundación), por otra parte, no existen diferencias significativas entre los tratamientos 3 y 4. El mayor valor alcanzado en cuanto al peso medio de 100 granos fue en el tratamiento 1 (17,06 g) reduciendo el peso hasta alcanzar 13,56 g a las 144 horas (6 días de inundación).

TABLA 5. Componentes del rendimiento la soya (var, CEB-2) sometida a diferentes días de inundación en la época de primavera

Tratamientos	número promedio de vainas por plantas	peso promedio de las vainas por plantas (g)	número promedio de semillas por plantas	peso promedio de las semillas por plantas (g)	peso promedio de 100 granos (g)
1	51,3 a	33,7 a	120	19,6 a	17,06 a
2	47,6 b	32,1 ab	118,5	19,1 a	16,53 ab
3	49,7 ab	30,2 ab	117,9	17,4 b	16,1 ab
4	47,8 ab	29,4 ab	116,5	16,4 b	15,76 b
5	47,5 b	27,9 b	115,3	14 c	13,56 c
Sig	*	*	N.S	*	*
ES±	0,496	0,749	1,405	0,479	0,354
C.V (%)	3,939	9,459	4,627	12,425	8,455

CV: Coeficiente de Variación (%), Error Estándar (ES), Significación (Sig).

En la Tabla 6 se presentan las componentes del rendimiento, el mayor valor del número promedio de vainas por plantas se obtiene en el tratamiento 1 (75,39) y el menor se alcanzó en el tratamiento 5 (56,82). En cuanto peso medio de las vainas por plantas, podemos observar que el mayor valor (35,6 g) se alcanzó en el tratamiento en que no se inundó (T1) disminuyendo a medida en que aumentaron las horas de inundación hasta llegar a 24,27 g (T5), se observaron reducciones desde un 2,4% (T2), hasta un 31,83% (T5) cuando se inundó 144 horas. En el número medio de semillas por plantas los mayores valores se alcanzaron en los tratamientos 1 y 2, los que no presentaron entre ellos diferencias significativas, a medida que aumentaron las horas de inundación estos disminuyeron en un 33,8% a las 144 horas de inundación (T5). El peso medio de las semillas por plantas disminuye a medida que aumentan las horas de inundación, el valor más bajo se alcanzó en el tratamiento 5 (17,63 g) al inundar las macetas durante 144 horas. No se observan diferencias significativas entre el tratamiento 1 (sin inundación) y el 2 (24 horas de inundación), por lo tanto, a partir de las 24 horas de inundación el cultivo es afectado, por otra parte, no existen diferencias significativas entre los tratamientos que fueron sometidos a mayor tiempo de inundación 96 y 144 horas. El mayor valor alcanzado en cuanto al peso medio de 100 granos fue en el tratamiento 1 (14,55 g) reduciendo el peso hasta alcanzar 10,60 g a las 144 horas (6 días de inundación). De manera general no se observan diferencias significativas entre el tratamiento 1 y 2 (24 h), por lo que los parámetros de rendimiento se afectan a partir de las 24 horas de inundación.

TABLA 6. Componentes del rendimiento de la soya (var, CEB-2) sometida a diferentes días de inundación en la época de invierno

Tratamientos	número promedio de vainas por plantas	peso promedio de las vainas por plantas (g)	número promedio de semillas por plantas	peso promedio de las semillas por plantas (g)	peso promedio de 100 granos (g)
1	75,39 a	35,6 a	172 a	22,62 a	14,55 a
2	70,01 ab	34,78 a	154 a	21,58 a	13,58 a
3	64,28 bc	30,1 b	140 ab	20,21 b	12,76 ab
4	62,33 bc	25,11 c	135,2 ab	18,48 c	11,16 b
5	56,82 c	24,27 c	113,9 b	17,63 c	10,60 b
Sig	*	*	*	*	*
ES±	1,80237	1,1862	5,64808	0,45034	0,4443
C.V (%)	12,253	17,698	17,6491	10,015	15,857

CV: Coeficiente de Variación (%), Error Estándar (ES), Significación (Sig).

Existen resultados obtenidos por diferentes autores en el cultivo de la soya que coinciden con los obtenidos en este trabajo. (J. Marquez & Enriquez, 1984) sometieron a 3 días de inundación el cultivo de la soya (variedad G7 R-315), en la fase de floración reduciendo al 62% el rendimiento en relación con el testigo. Estos resultados corroboran los obtenidos por (Pujol & Espinosa, 1985) en condiciones de parcelas y suelos aluviales, señalan a la fase de floración como la más sensible a los efectos del exceso de humedad.

Resultados similares fueron obtenidos por (Cun *et al.*, 2018; Trujillo *et al.*, 2017), pero en los cultivos del maíz y el girasol, sembrados en época de frío y en primavera, estos autores encontraron una reducción en los componentes del rendimiento en la medida que aumentaron las horas de inundación.

Según Pizarro (1985); Jackson *et al.* (2009), el exceso de humedad en el suelo disminuye la aireación y por lo tanto la concentración de oxígeno, que puede llegar hasta un 2%. Los macroporos, donde normalmente existe aire son ocupados por agua provocando un efecto directo sobre la respiración de las raíces e indirecto al modificar la acción microbiana. La disminución del nitrógeno asimilable ocasiona reducciones fuertes en la producción.

Muchos autores plantean que gran parte de los cultivos agrícolas obtienen altos rendimientos cuando se logra mantener el suelo sin excesos de humedad, dependiendo este efecto del tipo de cultivo; así como, Márquez y Enríquez (1984) que estudiaron el efecto de diferentes tiempos de inundación sobre el rendimiento de la caña planta y el primer retoño, y encontraron pérdidas de rendimiento del 30% a los 9 y 6 días de inundación para la caña

planta y el primer retoño respectivamente. Por su parte, también en caña de azúcar, Méndez (1994), al estudiar diferentes tipos de cepas y suelos en todo el país, reportó una disminución promedio de los rendimientos en este cultivo del 50% por efecto del mal drenaje; Herrera *et al.* (1988) en el frijol común, sembrado en suelo Gley ferralítico de la llanura sur de Pinar del Río, al evaluar el rendimiento en más de 30 campos de frijol, encontraron una disminución del rendimiento de más del 60% cuando se sobrepasó el nivel óptimo de riego para estas condiciones de suelo y cultivo.

Herrera *et al.* (2011), al revisar el efecto del mal drenaje sobre la producción agrícola en Cuba, señalaron que las pérdidas de rendimiento en los principales cultivos agrícolas del país a consecuencia del sobre humedecimiento de los suelos podía variar entre el 30% y el 80%.

Aunque no se realizó una comparación estadística entre las siembras en primavera e invierno, al comparar las Tablas 5 y 6 puede observarse en general una tendencia a mejores componentes del rendimiento en la época de primavera vs la época de invierno, la cual pudiera estar relacionada a condiciones favorables de clima para el cultivo.

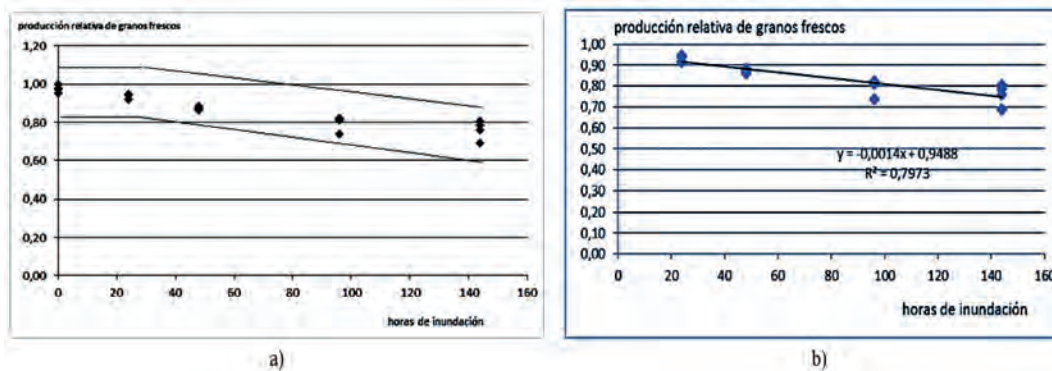


FIGURA 3. Comportamiento de la producción relativa de granos frescos en función de las horas de inundación (a) y a partir de 24 h sin afectaciones por la inundación (b), en época de primavera.

En la Figura 3 se puede observar el comportamiento de la producción relativa de granos frescos en función de las horas de inundación. En la Figura (a), la producción relativa de granos frescos, hasta las primeras 24 h, (1 día) de inundación, no muestra efecto del exceso de humedad sobre la producción de granos, a partir de este umbral ya existen afectaciones. Con el aumento de las horas de inundación comienza a disminuir la producción, Figura (b). Como se puede observar existe buena correlación entre la producción relativa de granos frescos y el tiempo de inundación a partir de las 24 h (R^2 0,7973). Existe una reducción de un 0,14% de la producción relativa de granos frescos por cada hora de inundación y se alcanza una pérdida de un 50% a las 67 h de exceso de humedad, en este caso el cultivo de la soya muestra un umbral de 24 h por lo que la reducción en el rendimiento y sus componentes se registró inmediatamente a partir de un día de inundación.

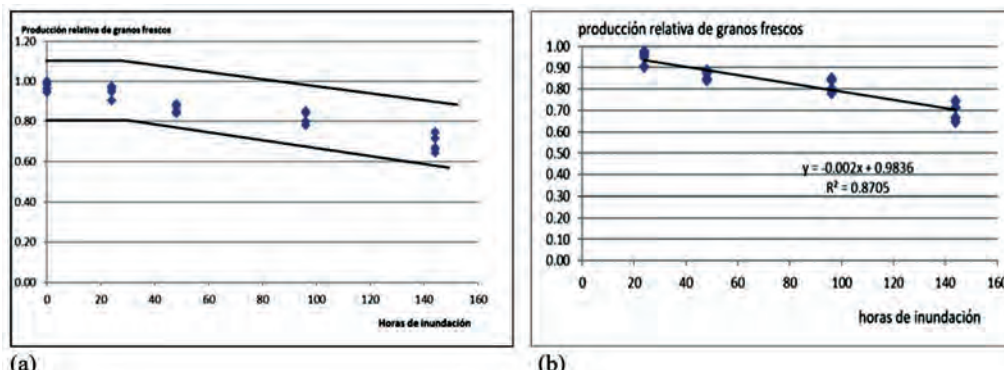


FIGURA 4. Comportamiento de la producción relativa de granos frescos en función de las horas de inundación (a) y a partir de 24 h sin afectaciones por la inundación (b), en época de invierno.

Como podemos observar en la Figura 4, al igual que en la época anterior, a partir del este valor umbral de 24 horas, con el aumento del tiempo de inundación comienza a disminuir la producción Figura b. Existe buena correlación entre la producción relativa de granos frescos y el tiempo de inundación a partir de las 24 h (R^2 0,8705). Hay una reducción de un 0,20% de la producción relativa de granos frescos por cada hora de inundación y se alcanza una pérdida de un 50% a las 84 h de exceso de humedad, en este caso el cultivo de la soya muestra un umbral de 24 h por lo que la reducción en el rendimiento y sus componentes se registró inmediatamente a partir de un día de inundación.

Trabajos realizados por Pujol & Espinosa (1985) en la soya (Glicinimax) encontraron que en las primeras 30 horas de inundación en la fase de floración hay poco o ningún efecto del exceso de humedad sobre el rendimiento. A partir de este valor umbral hay una reducción de un 7% por cada hora de inundación y se alcanza una pérdida del 50% aproximadamente con 85 horas de exceso de humedad. Está bien establecido que para la mayor parte de las especies vegetales cultivadas o silvestres, no adaptadas a condiciones de sobre humedecimiento del suelo, el estancamiento del agua en el perfil del mismo pone en riesgo su supervivencia debido a que el exceso de agua en el entorno radicular priva a las raíces del oxígeno necesario para la respiración, propicia condiciones para la reducción de los nitratos en el suelo y afecta otras reacciones metabólicas en la planta, provocando una reducción en su capacidad fotosintética y con ello los rendimientos (Jackson et al., 2009). Experimentos realizados en Cuba para diferentes condiciones y cultivos Márquez & Enríquez (1984); Duarte (1990) y en el mundo Gupta et al, (1992), indican que hay una relación directa entre la duración del exceso de humedad en el suelo y la reducción en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos. Herrera (2016), al revisar la literatura internacional señalaron que el cultivo del maíz disminuía su rendimiento entre 9,2 y 11,3% por cada día de sobre humedecimiento y que alcanzaba una disminución del 50% de su rendimiento potencial a 5 días de exceso de humedad en el suelo. Duarte (1990), al someter el frijol en la fase de floración (la más sensible) a diferentes tratamientos de inundación entre 0 y 4 días, encontró que a partir de 5 horas de inundación (valor umbral), el frijol pierde un 23% de rendi-

miento por cada día de inundación y alcanza un 50% de pérdida total a los 2,3 días de permanecer bajo condiciones de sobre humedecimiento. Estos resultados coinciden con los obtenidos en este trabajo en cuanto al efecto del exceso de humedad del suelo sobre el rendimiento del maíz, la pérdida de rendimiento del 50% se alcanza a las 70 h de sobre humedecimiento del suelo para la época de frío (aproximadamente 3 días).

CONCLUSIONES

- En el suelo Ferralítico Rojo compactado, a las primeras 24 horas (1 día) de inundación, en la fase de floración no se muestra efecto sobre la producción de granos en las dos épocas de siembra, la disminución en la producción del cultivo de la soya (CEB-2), se manifiesta a partir de este umbral, por lo tanto, el tiempo de drenaje alcanza un valor de 24 horas.
- A medida que aumenta el tiempo de inundación en el suelo se produce una reducción entre un 0,14 y 0,20% de la producción relativa de granos frescos por cada hora de inundación y se alcanza una pérdida de un 50% aproximadamente entre 67 y 84 horas de exceso de humedad.
- Las plantas presentaron pérdidas en el peso de las vainas, peso de semillas por plantas, peso de 100 granos cuando fueron sometidas a inundación desde las 24 horas hasta las 144 horas en la fase de floración.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR:

Conceptualización: Reinaldo Cun González. Curación de datos: Reinaldo Cun González, Julián Herrera Puebla, Carmen Duarte Díaz, Felicita González Robaina. Análisis formal: Reinaldo Cun González, Julián Herrera Puebla. Investigación: Reinaldo Cun González, Julián Herrera Puebla, Felicita González Robaina, Reynol Balsinde Mok, Orlando Sarmiento García. Metodología: Reinaldo Cun González, Julián Herrera Puebla, Felicita González Robaina, Carmen Duarte Díaz. Supervisión: Reinaldo Cun González. Validación: Reinaldo Cun González, Julián Herrera Puebla. Papeles/Redacción, proyecto original: Reinaldo Cun González. Redacción, revisión y edición: Julián Herrera Puebla, Carmen Duarte Díaz, Felicita González Robaina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, F. H., Aguirrezabal, L., & Rizzalli, R. (2000). Crecimiento y rendimiento comparado. En *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja* (Andrade, F. H.; Sadras, V. O., pp. 61-96). EEA INTA Balcarce/ UNMP.
- Cid, G., López, T., González, F., Herrera, J., & Ruiz, M. E. (2012). Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2), 25-31.
- Cisneros, Z. E., Cun, G. R., Herrera, P. J., González, R. F., Cun, R. S., & Sarmiento, G. O. (2020). Efecto de los polímeros en la economía del agua. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(1), 13-20.
- Cordero, Y., Hernández, G., & Bello, R. (2010). Manejo agrotécnico en cultivos de interés para la alimentación de los cerdos I. *Boletín-técnico Porcino*, 20.
- Cun, G. R., Herrera, P. J., Duarte, D. C., Sarmiento, G. O., González, E. D., & González, M. D. (2018). Influencia del tiempo de inundación en el girasol para la proyección de sistemas de drenaje. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(4), 21-27.
- Duarte, C. (1990). Resistencia del frijol a las condiciones de sobrehumedecimiento en un suelo hidromórfico gley amarillento. *Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie Riego y Drenaje*, 13(2), 19-26.
- Gupta, S., Singh, R., & Pandey, R. (1992). Surface drainage requirement of crops: Application of a piecewise linear model for evaluating submergence tolerance. *Irrigation and Drainage Systems*, 6(3), 249-261.

Cun-González *et al.*: Determinación del tiempo de resistencia a la inundación de la soya (*Glycine max* L. Merr)

- Herrera, P. J. (2016). Efecto del exceso de humedad del suelo sobre el rendimiento en algunos cultivos de importancia agrícola en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(2), 3-7.
- Herrera, P. J., Martínez, E., & Giralt, E. (1988). Respuesta del frijol al riego en suelos loam arenosos con horizontes gleyzados. *Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie Riego y Drenaje*, 11(2), 7-19.
- Herrera, P. J., Pujol, R., Cid, G., Méndez, M., & Alarcón, R. (2011). Problemas del drenaje agrícola en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 1(1), 21-32.
- Jackson, M. B., Ishizawa, K., & Ito, O. (2009). Evolution and mechanisms of plant tolerance to flooding stress. *Annals of Botany*, 103(2), 137-142.
- Kantolic, G., Giménez, P. I., & De la Fuente, E. B. (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En *Producción de granos; bases funcionales para su manejo* (Satorre, E.H.; Benech Arnold, R.L.; Slafer, G.A.; de La Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E.; Savin, R., pp. 167-186).
- López, S. T., Ustariz, A., Cisneros, Z. E., Rodríguez, G. A., Herrera, P. J., & González, R. F. (2018). Calibración de sondas electromagnéticas para estudios de riego en diferentes zonas agrícolas. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(3), 31-39.
- Marquez, J., & Enriquez, J. (1984). Estudio del efecto de la humedad excesiva en el cultivo de la soya. *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie Riego y Drenaje*, 7(1), 15-26.
- Marquez, J. L. (1985). *Estudio de tres tiempos de inundación en el cultivo de la caña de azúcar*. (N.º 0138-8738). Centro de Información y Divulgación Agropecuario (CIDA).
- Méndez, F. M. (1994). Influencia de la humedad excesiva de algunos suelos en los endimientos agrícolas de la caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 4(2), 79-82.
- Merino, D. (2006). *Caracterización morfo fisiológica y agronómica de cultivares de soya [Glycine max (L.) Merr.] en siembra de invierno en suelo pardo con carbonatos* [Tesis de Diploma]. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- NC 53-13 1985. (1985). *Normalización Módulo de Drenaje Agrícola. Método de cálculo* [Norma cubana]. Oficina Nacional de Normalización.
- NC 1048 2014. (2014). *Calidad del agua para preservar el suelo-especificaciones* [Norma cubana]. Oficina Nacional de Normalización.
- Pérez, H. A. (2014). *Respuesta agronómica e incidencia de plagas en cuatro variedades de soya en la asociación con girasol* [Tesis de Diploma]. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Agronomía.
- Pizarro, F. (1985). *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos, el suelo y los cultivos en relación con el drenaje*. Editorial Agrícola Española.
- Pujol, R. E., & Espinosa, E. (1985). *Resistencia del cultivo de la soya al exceso de humedad, Informe de resultado* [Mimeografiado].
- Salinas, A., Santos, D., Santos Filho, B., Gomes, A., Melo, V., & Zonta, E. (1989). *Comportamiento de genotipos de soja hasta el estado de plántulas, en diferentes niveles de humedad*. Actas IV Conf. Mundial de Investigación en Soja, Buenos Aires, Argentina, ASA.
- Socorro, M. A., & Martín, D. (1989). *Maíz. Granos* (Primera). Editorial Pueblo y Educación.
- Trujillo, M. E. E., Cun, G. R., & Herrera, P. J. (2017). Estudio del efecto del exceso de humedad en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(1), 60-64.

Reinaldo Cun-González, Inv. Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: reinaldo.cun@boyeros.iagric.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5100-7902>

Julián Herrera-Puebla, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric). Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: julian.herrera@boyeros.iagric.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1015-6661>

Carmen E. Duarte-Díaz, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: carmen.duarte@boyeros.iagric.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7887-6289>

Felicitá González-Robaina, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: felicitagonzalez@boyeros.iagric.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8245-4070>

Reynol Balsinde-Mok, Ing. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: reynol.balsinde@boyeros.iagric.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6039-4126>

Orlando Sarmiento-García, Técnico, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: orlando.sarmiento@boyeros.iagric.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1740-8152>

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

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

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