

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Efecto del exceso de humedad del suelo sobre el rendimiento en algunos cultivos de importancia agrícola en Cuba

Soil water-logging effects on yield of some important agricultural crops in Cuba

Dr.C. Julián Herrera Puebla, Dr.C. Carmen Duarte Díaz, Dr.C. Felicita González Robaina, Dr. C. Greco Cid Lazo
Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. En Cuba, la principal causa de los problemas de drenaje agrícola lo constituyen las lluvias que provocan exceso de humedad de los suelos en áreas que serían más productivas con un adecuado sistema de drenaje superficial; para el diseño de estos sistemas es necesario conocer el tiempo requerido para evacuar las lluvias en exceso, este último parámetro fuertemente dependiente de la afectación que puede sufrir el cultivo por el exceso de humedad. A partir del análisis de los datos tomados de experimentos realizados en Cuba sobre la resistencia de diferentes cultivos al exceso de humedad en el suelo fueron ajustando los mismos a un modelo no lineal de dos partes, a partir del mismo se muestra que existe un umbral, variable según el cultivo, en el que no hay efecto del exceso de humedad sobre el rendimiento, luego si el exceso de humedad continua hay un decline lineal del rendimiento; los parámetros a calcular en el modelo son el rendimiento óptimo (sin exceso de humedad en el suelos), el número de días umbral y la pendiente que representa el porcentaje de reducción del rendimiento por día adicional de exceso de humedad. El modelo parece funcionar bien en los cultivos ensayados (caña de azúcar, frijol negro, soya, papa, pasto estrella y king grass), y en algunos de ellos como el frijol y la papa el valor umbral fue cero o muy cercano; los mayores valores de reducción porcentual del rendimiento con relación a los días de inundación fueron de 34,3, 23,2 y 16,3 para la papa, frijol negro y soya respectivamente, y los menores entre 3 y 6 para el pasto estrella, la caña de azúcar y el king grass. El modelo propuesto permite el cálculo de las necesidades de drenaje y la evaluación económica del efecto del mismo y la inversión a realizar, por lo que se recomienda su ampliación a otros cultivos, como el maíz, sorgo, girasol y otros posibles de producir en suelos con problemas de drenaje.

Palabras clave: mal drenaje, valor umbral, sumergencia.

ABSTRACT. Rainfall excess during the rainy season is the main cause of soil waterlogging in Cuba. In areas with poor soil drainage, surface drainage is the best solution for cropping during the rainy season, but for an adequate drainage system design, it is necessary to know the required time to evacuate the excess rainfall before the crop is affected by waterlogging in soils. Data from different experiments carry out in Cuba, were if was measured the effects of the numbers of days with excessive soil moisture on yield in different crops; where adjusted to a piecewise linear model similar to one developed for Gupta et al (1992) in India. Adjusting the model, it was find that there is not yield declined for a few initial days of submergence, beyond this period, if submergence continue, there would be linear decline in yield. The unknown parameters in the model are optimum yield, threshold time and the slope which represent the percent yield reduction per day of additional submergence beyond the threshold. The model worked well in the crops selected (sugar cane, black bean, soya bean, potatoes, star grass and king grass); in some of them like black bean and potatoes, the threshold value was zero or very closed; the highest percent values of yields reduction in relation with the number of submergence days were 34,3, 23,2 and 16,3 for potatoes, black bean and soya bean respectively and lowest were star grass, sugar cane and king grass. The prosed model permit to calculate the drainage requirements and the economic evaluation of crop submergence and the economic value of the investment to do in drainage; it is recommended to continues the research and to extend the model to others important crops in the country like corn, sorghum, sunflowers and others that are planted in soils susceptible to submergence.

Keywords: bad drainage, threshold value, submergence.

INTRODUCCIÓN

La acumulación de las aguas excedentes de la lluvia o el riego que causan sobre humedecimiento de las tierras de cultivo con pendiente suave a moderada de las áreas tropicales y sub tropicales constituye uno de los problemas que más inciden en estas áreas en la disminución de los rendimientos. La evacuación de estas aguas, en tiempo y forma es el objetivo principal del drenaje superficial. Según estudios antecedentes (Herrera *et al.*, 2011)¹, la principal causa de los problemas de drenaje en las áreas agrícolas en Cuba lo constituyen las lluvias que provocan exceso de humedad de los suelos en áreas que serían más productivas con un adecuado sistema de drenaje superficial.

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 (Stoimenova *et al.*, 2003; Jackson *et al.*, 2009; Herrera *et al.*, 2011).

Experimentos realizados en condiciones diferentes en Cuba para varios cultivos (Márquez y Enríquez, 1984; 1985; Duarte, 1990², entre otros) y en el extranjero (Gupta *et al.*, 1992, Lauer, 2008; El-Nashar, 2013), indican que hay una clara relación entre la duración del exceso de humedad en el suelo y la reducción en el crecimiento y el rendimiento. Méndez (1994), al estudiar en la caña de azúcar diferentes tipos de cepas creciendo en varios tipos de suelo en Cuba, encontró una disminución promedio de los rendimientos en este cultivo del 50 % por efecto del mal drenaje. Por su parte, Herrera y Martínez (1988,) en el frijol común, sembrado en suelos gley ferralíticos de la llanura sur de Pinar del Río (Cuba), al evaluar el rendimiento en más de 30 campos de frijol encontraron una disminución del rendimiento mayor del 60 % cuando se sobrepasó el nivel óptimo de riego para estas condiciones de suelo y cultivo. En general se ha estimado que las pérdidas de rendimiento en los principales cultivos agrícolas en Cuba varían entre el 30 y el 80 % en dependencia del cultivo y el tiempo de exposición al exceso de humedad en el suelo (Herrera *et al.*, 2011).

El tiempo que el cultivo puede soportar bajo condiciones de inundación, sin disminuir significativamente sus rendimientos se denomina **tiempo de drenaje** (td.). Este tiempo de drenaje para las condiciones de Cuba, según la Norma Cubana (NC 53-138) para diseño de sistemas de drenaje superficial (Comité Estatal de Normalización, 1985), varía entre 24 a 120 horas para la caña de azúcar, 24 a 72 horas para los cítricos, 72 a 168 horas para los pastos, 24 horas para las viandas y plátanos y entre 10 a 15 horas para los vegetales y papa. Esta norma no recoge la fuente bibliográfica de donde han sido tomado estos valores,

los cuales, como es conocido varían de un país a otro. La norma tampoco informa sobre la pérdida de rendimiento que puede ocurrir en la medida que transcurre el tiempo de inundación, lo que deja poco margen para la selección económica del tiempo de drenaje del cultivo en función de la cantidad de lluvias a evacuar y el tipo de suelo.

Lo anterior indica que hay necesidad de información sobre el efecto de la duración del exceso de humedad en el suelo en los principales cultivos agrícolas en el país, que sirva como base para un adecuado diseño agronómico de los sistemas de drenaje superficial. En este sentido, el objetivo de este trabajo ha sido sintetizar la información de diferentes estudios sobre el efecto del sobre humedecimiento en cultivos agrícolas desarrollados en el Cuba, algunos no publicados, y explicar la respuesta de los mismos utilizando el modelo lineal segmentado propuesto por Gupta *et al.* (1992).

MÉTODOS

Fundamentos teóricos

Mass y Hoffman (1977), propusieron un modelo de regresión lineal partido para evaluar la respuesta de los cultivos a la salinidad, Oosterban *et al.* (1990) ampliaron este modelo y desarrollaron un programa de cómputo de fácil uso. Gupta *et al.* (1992), utilizaron una concepción similar para describir la respuesta de los cultivos a la duración de la inundación.

Al desarrollar este modelo, Gupta *et al.* (1992), consideraron como los dos parámetros independientes a la duración de la inundación y el rendimiento, pudiendo este último ser comparado con el primero, tanto en términos de rendimiento real o relativo. Cuando se usa el rendimiento relativo, el rendimiento en el tratamiento control o el máximo rendimiento observado se toman como rendimiento óptimo. En general el tratamiento control es aquel donde que no sufrió inundación alguna durante su período de crecimiento.

Gráficamente y en términos de rendimiento relativo, el modelo puede ser descrito por tres líneas rectas.

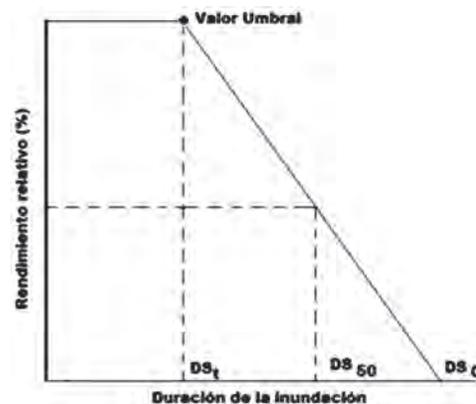


FIGURA 1. Diagrama esquemático de la respuesta del cultivo a la inundación.

¹ HERRERA, P. J.; DUARTE, C.; PUJOL, R.; RICARDO, M.: "Respuesta de los cultivos al exceso de humedad, Informe etapa 2, Proyecto 22-64, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, 60 pp, Agosto 2011.

² DUARTE, C.; ROQUE, R.; RODRÍGUEZ, A.; GONZÁLEZ, T. Indicadores de proyecto acerca de la tolerancia a los excesos de humedad en el suelo de los pastos y forrajes, viandas y granos. Informe final, contrato No 004-02-08. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, La Habana, Cuba, 26 pp., 1990.

Se asume que inicialmente, sin sumergencia, no hay efecto sobre el rendimiento del cultivo, seguidamente, el rendimiento declina con la duración del tiempo de inundación hasta que llega a ser cero. Matemáticamente estas relaciones pueden escribirse como:

$$\begin{aligned} R_r &= 100 \\ R_r &= 100 - S(DI - DU) \\ R &= 0 \end{aligned} \quad \begin{aligned} 0 \leq DI \leq DU \\ DU < DI \leq DI_0 \\ DI > DI_0 \end{aligned} \quad (1)$$

En las relaciones anteriores, R_r es el rendimiento relativo, DI es la cantidad de días de inundación, DI_1 es la duración del período de inundación hasta donde no hay afectación al rendimiento y se denominada como duración umbral, S es la pendiente de la función de respuesta entre DI_1 y DI_0 , siendo este último valor la duración del periodo de inundación a partir del cual el rendimiento se hace cero. La pendiente S representa el porcentaje de reducción en el rendimiento por unidad de incremento del periodo de inundación por encima del valor umbral. La figura 1 muestra esquemáticamente la función de respuesta que se obtiene al aplicar el modelo.

La duración de este exceso para un rendimiento previamente decidido puede calcularse utilizando la relación siguiente.

$$DS = (RPR / S) + DU \quad (2)$$

donde:

DS = tiempo de duración de la inundación que determina un por ciento de pérdida de rendimiento

RPR = % de pérdida de rendimiento que se quiere prever
S y DU = Como se definen en la ecuación.

Para el análisis de los datos se utilizó la técnica de regresión no lineal para el ajuste de los datos. El nivel umbral se consideró igual a la duración de la sumergencia en el tratamiento control.

Fuentes de datos

La mayor parte de los datos utilizados fueron tomados de trabajos realizados en la década de los 80 en la Estación Experimental del Instituto de investigaciones de Riego y Drenaje situada en el municipio de Alquizar, provincia de Artemisa (desde 2010 Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola). Las condiciones climáticas de la región han sido reseñadas con anterioridad y más recientemente por González *et al.* (2013).

En la Tabla 1 se recogen las fuentes de datos fundamentales donde cada autor recogió las condiciones en que se desarrollaron los experimentos. La mayor parte de los mismos fueron realizados en lisímetros y en parcelas experimentales donde el procedimiento usual fue crear artificialmente sumergencia en el cultivo con duraciones variables y un tratamiento

regado periódicamente pero sin sumergencia. En algunos casos fue estudiado el nivel de sumergencia en más de una fase de desarrollo del cultivo, pero los datos utilizados en este trabajo comprendieron solo la fase que el autor considero como más crítica.

Excepto para el tratamiento de sumergencia, el riego y las demás prácticas agronómicas en cada experimento fueron normales para el cultivo estudiado. Otros factores limitantes, si los hubo, fueron similares para todos los tratamientos y por tanto fueron ignorados. En todos los experimentos se aseguró de que el estrés hídrico en otros momentos no afectara el rendimiento de los cultivos. El rendimiento medio en cada tratamiento y la duración del sobre humedecimiento forman la base de los análisis reseñados en este trabajo. Para detalles sobre las técnicas experimentales específicas en cada trabajo el lector puede remitirse a las referencias mostradas en la Tabla 1 para cada experimento. En la Tabla 1 también se muestran otros cultivos para los cuales aún no se tienen referencias de estudios de respuesta al exceso de humedad en Cuba, pero por su importancia en el país y provenir los resultados de climas similares al nuestro también fue incluido en este trabajo.

Tabla 1. Fuentes de datos fundamentales en el estudio

Sitio	Cultivo	Referencia
Alquizar	Caña de Azúcar	Márquez y Enríquez (1985)
Alquizar	Pasto Estrella	Duarte <i>et al.</i> (1990)
Alquizar	Soya	Márquez y Enríquez (1984)
Bayamo	Soya	Pujol y Espinosa (1985)3
Alquizar	Frijol Negro	Duarte (1990)
Alquizar	Papa y boniato	Castellanos <i>et al.</i> (1998)4
India	Maíz	Gupta <i>et al.</i> (1992)
Texas	Sorgo	Gupta <i>et al.</i> (1992)
Venezuela	Girasol	Gupta <i>et al.</i> (1992)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tolerancia al sobre humedecimiento para varios cultivos en términos de los parámetros que registra el modelo se muestran en la Tabla 2. Los datos de esta tabla señalan dos parámetros esenciales:

- la máxima duración del sobre humedecimiento sin reducción del rendimiento comparada con el tratamiento control (duración del umbral)
- el por ciento de decrecimiento del rendimiento por unidad de incremento en la duración del sobre humedecimiento.

³ PUJOL, R.; ESPINOSA, E.: Resistencia del cultivo de la soya al exceso de humedad. Informe de resultado de Investigación. Mimeografiado. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Ciudad de la Habana, Cuba, 40 pp., 1985.

⁴ CASTELLANOS, A.; MÉNDEZ, M. A.; RICARDO, M. P.: Establecimiento de los valores umbrales de humedad en los cultivos Papa y Boniato. (Inédito), Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Ciudad de la Habana, Cuba. 10 pp, 1998.

TABLA 2. Tolerancia al sobre humedecimiento de varios cultivos

Cultivo	Índices de tolerancia a la sumergencia		
	Umbral DI_1 (días)	Pendiente (S) (%)	DI_{50} (días)
Caña de azúcar	2	6,7	9,5
Frijol negro	0,0	23,2	2,2
Soya	1,0	16,32	4,1
Papa	0,8	34,3	2,3
Pasto estrella	3	3,0	19,6
King grass	3	6	11,3

Estos dos parámetros son suficientes para evaluar el rendimiento relativo de estos cultivos a los días de exceso de humedad por encima del nivel umbral.

La ecuación (2) fue utilizada para calcular la duración del tiempo de inundación que reduce al 50 por ciento el rendimiento (RPR) de los cultivos mostrados en la Tabla 2. En esta tabla puede notarse que en algunos cultivos la sumergencia inicialmente tiene poco efecto sobre el rendimiento; estos cultivos pueden considerarse que poseen un nivel umbral superior a 0,0. Un umbral igual a 0,0 indica que la disminución del rendimiento comienza inmediatamente que el cultivo sufre exceso de humedad (frijol, maíz, sorgo) aun cuando las pérdidas posteriores (indicadas por la pendiente) pueden ser de diferente grado (frijol>sorgo>maíz).

El nivel mínimo de umbral encontrado fue de 0,0, mientras que los máximos valores fueron para el pasto estrella y King Grass (3 días) y la caña de azúcar y el boniato (2 días). Resalta el hecho de que para la soya se encontró un umbral de 1 día, mientras que para el frijol negro fue de 0,0 días, esto coincide con las mejores respuestas que se han encontrado en el rendimiento de la soya en siembras en el período lluvioso con relación a las realizadas en el período seco, aun cuando se utilice el riego (Castellanos, 1988), mientras que las siembras de frijol negro son altamente riesgosas en períodos que pueden ocurrir lluvias notables.

En la Tabla 3 se muestran resultados obtenidos utilizando el modelo para otros países en cultivos no estudiados aun en Cuba, los datos para el boniato fueron procesados a partir del trabajo de Rumahlatu (1996)⁵ mientras que para el resto de los cultivos fueron obtenidos de Gupta *et al.* (1992). Estos valores pueden servir como índices para estos cultivos en Cuba mientras no se tengan datos propios. La aseveración anterior se demuestra al observar la figura 2 donde se comparan datos de la papa y los pastos para áreas en el estado de Mérida, Venezuela según Rojas y Willardson (reportados por Gupta *et al.*, 1992) y los datos obtenidos en este trabajo.

En las Figuras 2 y 3 puede observarse similar tendencia en el comportamiento de los tres valores descritos por la ecuación (2). En el caso de la papa (Figura 2), para la región de Mérida, en Venezuela, tal vez con un clima más propicio para el desarrollo de la papa, el tiempo que este cultivo puede soportar un exceso de humedad (valor umbral) es menor que en Cuba, donde la papa requiere de un suelo constantemente húmedo como medida para

mantener una baja temperatura en el mismo (Roque, 1995)⁶. Esta misma condición de alta temperatura ambiental pudiera provocar que al sobrepasar este valor umbral se incremente más rápidamente la pendiente (disminución relativa de rendimiento/día) debido a que se incrementa el déficit de oxígeno en el suelo en momentos en que la respiración se hace más intensa.

TABLA 3. Tolerancia al sobre humedecimiento en cultivos no estudiados en este trabajo

Cultivo	Índices de tolerancia a la sumergencia			Referencia
	Umbral DI_1	Pendiente (S)	DI_{50}	
Boniato	2	5,48	9,12	Australia (Rumahlatu 1996)
Maíz	0,0	11,2	3	India (Gupta <i>et al.</i> , 1992)
Maíz	0,0	9,93	5,04	Texas (Gupta <i>et al.</i> , 1992)
Sorgo de grano	0,0	14,6	3,42	Texas (Gupta <i>et al.</i> , 1992)
Girasol	1,98	7,10	9,01	Mérida (Gupta <i>et al.</i> , 1992)
Papa	0,0	9	5,55	Mérida (Gupta <i>et al.</i> , 1992)
Pastos	1,47	3,6	15,35	Mérida (Gupta <i>et al.</i> , 1992)

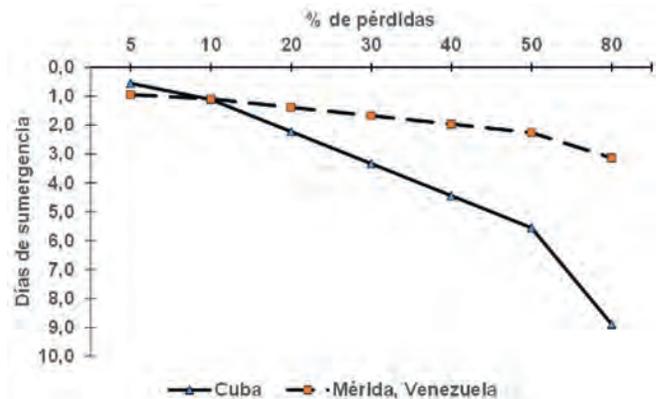


FIGURA 2. Relación entre el porcentaje de pérdidas de rendimiento en la papa debido al sobre humedecimiento para dos regiones distintas.

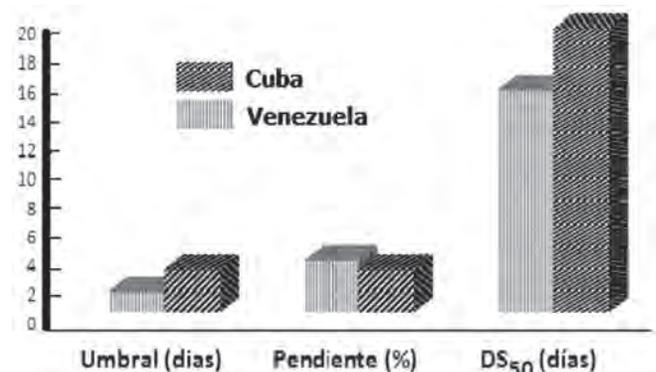


FIGURA 3. Valores de Umbral, pendiente y días en alcanzar una pérdida de 50 % de rendimiento debido al sobre humedecimiento en pastos para dos regiones distintas.

⁵ RUMAHLATU, F.J.; TURNER, D.W.; STEER, B.T.: Effect of waterlogging on the growth and yield of sweet-potato (*Ipomoea batatas* L.), "Agronomy in a Mediterranean Environment". Proceedings of the 5th Australian Agronomy Conference, 30 January - 2 February 1996, The University of Western Australia, Perth, Western Australia, 1996.

⁶ ROQUE, R.R. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) al riego en suelos Ferralíticos rojos del occidente de Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de la Habana- Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, 100 pp. La Habana, Cuba, 1995.

En el caso de los pastos (Figura 3), en ambos casos se tiene el mismo patrón de comportamiento, caracterizado por un alto valor umbral (2 a 4 días), un bajo valor de la pendiente (3 a 3,6 %) y entre 15 a 19 días para alcanzar el valor de pérdida del 50 % del rendimiento.

Al diseñar un sistema de drenaje superficial, la duración del tiempo en que los cultivos están sometidos al exceso de humedad es un importante parámetro en el cálculo del módulo de drenaje, mediante la ecuación propuesta es posible seleccionar una duración ajustada a un nivel de pérdida de rendimiento. Por ejemplo, si se diseña el sistema de drenaje para evacuar el exceso de humedad en dos días para la caña de azúcar, el rendimiento se reducirá solamente en 7 %, por el contrario, si el estado del sistema o su diseño solo permite evacuar este exceso en 10 días, puede asegurarse que las pérdidas pueden alcanzar hasta el 50 % de rendimiento. Por otra parte, para cultivos como el frijol o la papa, con menos de un día como valor umbral, no cabe dudas de la necesidad de insertar estos cultivos en un ciclo de rotación donde la probabilidad de lluvias no indique exceso de humedad o la selección de suelos con una alta capacidad de drenaje. Otra

posibilidad que brinda este tipo de estudio es el poder analizar los resultados de la falta de drenaje desde un punto de vista económico al poder evaluar cuantitativamente las posibles pérdidas de rendimiento o también calcular la capacidad de retorno económico de las inversiones en sistemas de drenaje

CONCLUSIONES

- Los resultados antes expuestos tienen su aplicación práctica en el diseño de sistemas de drenaje superficial y en el análisis de las consecuencias de la falta de drenaje en el rendimiento económico de los cultivos.
- Dado el desarrollo que ha de tener en Cuba la producción de granos, de los resultados planteados se nota la poca información sobre la respuesta al exceso de humedad en estos cultivos en el país, en particular del maíz, el sorgo y también el girasol, los cuales deberán formar parte de las rotaciones con el arroz, que se produce generalmente en suelos con drenaje o podrían ser cultivados en vertisoles con sistemas de drenaje adaptados a sus requerimientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASTELLANOS, A. "Evapotranspiración real de la soya (*Glicine max*) sembrada en tres épocas del año", *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Serie Riego y drenaje*, ISSN 0138-8487, 11(1): 73-85, 1988.
- DUARTE, C.: "Resistencia del frijol a las condiciones de sobrehumedecimiento en un suelo hidromórfico gley amarillento", *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Serie Riego y drenaje*, ISSN 0138-8487, 13(2): 19-26, 1990.
- EL-NASHAR, W. Y.: "The Combined Effect of Water-logging and Salinity on Crops Yield", *OSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*. e-ISSN: 2319-2380, p-ISSN: 2319-2372, 6(4): 40-49, Nov. - Dec. 2013.
- GONZÁLEZ, F.; HERRERA, P. J.; LÓPEZ, T. S.; CID, G. L.: "Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 22(3): 5-11, julio-agosto-septiembre, 2013.
- GUPTA, S. K; SINGH, R. K.; PANDEY, R. S.: "Surface drainage requirement of crops: Application of a piecewise linear model for evaluating submergence tolerance", *Irrigation and Drainage Systems*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01109712>, ISSN: 0168-6291, 6: 294-261, 1992.
- HERRERA, P.J.; PUJOL, R.; CID, G.; MÉNDEZ, M.; ALARCÓN, R.: "Problemas de drenaje en Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2227-8761, 1(1): 21-32, 2011.
- JACKSON, M. B; ISHIZAWA, K.; ITO, O.: "Evolution and mechanisms of plant tolerance to flooding stress", *Annals of Botany*, Downloaded from <http://aob.oxfordjournals.org> on February 24, 2015, 103: 137-142, 2009.
- LAUER, J.: *Flooding Impacts on Corn Growth and Yield*. Agronomy Advice. University of Wisconsin. Agronomy Department, *Field Crops* 28: 49-56. <http://corn.agronomy.wisc.edu>, June 2008.
- MÁRQUEZ, J. L.; ENRÍQUEZ, J. L.: "Estudio de tres tiempos de inundación en el cultivo de la caña de azúcar", *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Serie Riego y Drenaje*, 8(1): 21-36, enero 1985.
- MÁRQUEZ, J. L.; ENRÍQUEZ, J.L.: "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, 1984.
- COMITÉ ESTATAL DE NORMALIZACIÓN: Elaboración de proyectos de Construcción. Módulo de Drenaje Agrícola. Método de Cálculo. NC- 53-138, Republica de Cuba, febrero 1985.
- STOIMENOVA, M.; HÄNSCH, R.; MENDEL, R.; GIMMLER, H.; KAISER, W.M.: "The role of nitrate reduction in the anoxic metabolism of roots I. Characterization of root morphology and normoxic metabolism of wild type tobacco and a transformant lacking root nitrate reductase", *Plant and Soil*, ISSN 0032-079X, 253: 145-153, 2003.

Recibido: 15/09/2015.

Aprobado: 04/03/2016.

Julián Herrera Puebla, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Correo electrónico: direccioninvest1@iagricu

Carmen Duarte Díaz, Correo electrónico: jdptoriego@iagricu

Felicita González Robaina, Correo electrónico: dptoambiente4@iagricu

Greco Cid Lazo, Correo electrónico: dptoambiente1@iagricu