



ARTÍCULO ORIGINAL

Base de datos sobre necesidades hídricas

A database on water requirements

Felicita González Robaina¹, Julián Herrera Puebla², Osmany Hernández Barreto¹, Teresa López Seijas²
y Greco Cid Lazo²

RESUMEN. El ordenamiento y accesibilidad a la información sobre régimen hídrico de los principales cultivos agrícolas resulta de gran impacto económico social ya que la misma permite la definición de la función agua rendimiento y la productividad del agua como herramientas eficientes en el planeamiento, diseño y operación del suministro de agua a los cultivos. Este trabajo se trazó como objetivo obtener a partir de la recopilación y tabulación de los resultados experimentales existentes en el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), una base de datos sobre necesidades hídricas de algunos cultivos de interés agrícola. La base de datos comprende la información experimental de 1971 hasta 2009, más de 22 cultivos, cinco tipos de suelos, con diferentes técnicas de riego y un rango amplio de tratamientos de riego. Así como las variables: evaporación, consumo de agua, rendimientos, número de riegos, agua aplicada por riego, precipitaciones reportadas, lluvia aprovechable. Esta base de datos permitirá en etapas posteriores determinar para cultivos de interés su potencial de producción, así como la productividad agronómica del agua y el factor de respuesta del rendimiento como expresión de la función agua rendimiento; contribuyendo a la definición de estrategias que den respuesta al problema de la escasez de agua y a la seguridad alimentaria a un costo ambiental más bajo. Se programó la base de datos para su colocación en la página WEB del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) como parte del sistema de asesoramiento al regante y su consulta por parte de todos los usuarios interesados.

Palabras clave: requerimientos hídricos.

ABSTRACT. The management and accessibility to information on water regime of the main agricultural crops is of great economic and social impact since it allows the definition of the role of water yield and water productivity as efficient tools in the planning, design and operation of supply water to crops. This paper is aimed at obtaining from the collection and tabulation of experimental results available at the IAgric, a database on water requirements of some crops of agricultural interest. The database includes the experimental data from 1971 to 2009, more than 22 crops, five soil types, different irrigation techniques and a wide range of irrigation treatments. And the variables: evaporation, water consumption, yields, amounts of irrigations, water applied per irrigation, rainfall reported, usable rain. This database will determine later in crops of interest potential production, agricultural productivity and water yield response factor as an expression of water-yield performance, contributing to the development of strategies that respond to problem of water scarcity and food security to a lower environmental cost. The database will be placed IAgric website as part of the Advising Irrigator System all interest for users.

Keywords: water requirements.

INTRODUCCIÓN

Una base de datos es una colección lógicamente coherente de datos organizados e interrelacionados, con un objetivo definido y en la medida en que este basado en un modelo bien estructurado tendrá mayor rango de aplicación en la experimentación agrícola (Van Evert *et al.*, 1999).

El ordenamiento y accesibilidad a la información sobre régimen hídrico de los principales cultivos agrícolas permitirá la definición de la función agua rendimiento y la productividad del

agua como herramientas eficientes en el planeamiento, diseño y operación del suministro de agua a los cultivos.

Desde finales de la década del 70 de la pasada centuria, el entonces Centro de Desarrollo de Riego y Drenaje, posteriormente Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), hoy Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) ha desarrollado y continúa desarrollando investigaciones con el fin de establecer los requerimientos de agua de los cultivos del país.

Recibido 11/12/10, aprobado 30/01/12, trabajo 23/12, artículo original.

¹ M. Sc., Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar, km 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Teléf.: (53) (7) 691-1038, 691-2665, 691 2533, E-✉: felicita@iagric.cu

² Dr. C., Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), La Habana, Cuba.

La mayor parte de estas investigaciones al ser publicadas en revistas científicas o aún en forma de reporte de investigación han centrado su atención en definir el momento óptimo de riego, en la cuantía de la evapotranspiración real del cultivo (ET_R) o en la determinación de la relación entre la Evaporación (E_o) y la ET_R , expresada esta última relación como coeficiente bioclimático (K_b). En muy pocos casos se han establecido las funciones de producción agua/rendimiento o su tratamiento matemático es muy simple y con poca discusión científica del resultado obtenido.

El presente trabajo se propone, a través de la información disponible en los fondos del IIRD (publicada o en forma de llamada información gris) y otras instituciones, obtener una base de datos sobre necesidades hídricas de cultivos de interés agrícola y la puesta a disposición de todos los especialistas de esta información en una forma fácil de usar.

MÉTODOS

Tzenova (1976) y Delibaltov (1981) elaboraron lineamientos metodológicos para la determinación de la ET_R de los cultivos en las condiciones de Cuba, por otra parte, Tzenova (1978) propuso lineamientos metodológicos para el estudio del régimen de riego de los cultivos en el país. El IIRD, en su papel de rector en las investigaciones sobre riego en el país, validó y aceptó estas metodologías para aplicar en sus investigaciones y las hizo extensivas a otras instituciones que han laborado en el tema. De lo anterior se desprende que hay una casi absoluta concordancia en los lineamientos metodológicos empleados en los trabajos reportados sobre el tema en el país. Trabajos posteriores, utilizando la modelación matemática (López *et al.*, 2001 y López, 2002) han confirmado la validez de las mismas a la vez que han introducido mejoras y precisiones, sobre todo en la estimación y papel de las reservas de agua en el suelo para el cálculo de la ET_R y el régimen de riego de los cultivos.

Esta coincidencia metodológica hace válida la comparación de los diferentes resultados, difiriendo entonces los mismos en cuanto al cultivo, suelo y región donde se realizaron.

Primeramente se procedió a la recopilación y tabulación de los resultados de investigación sobre el tema recogidos en revistas nacionales e internacionales así como tesis de grado y maestría, informes de etapas de investigación e informes no publicados. En todos los casos se hará citación de la fuente de procedencia de los datos utilizados.

La tabulación se hizo inicialmente en Formato Excel y comprendió los siguientes campos:

1. **No.:** Corresponde al número de serie del trabajo en la lista, cada trabajo tendrá un solo número aun cuando reporte diferentes variedades o cultivos.
2. **Cultivo**
3. **Variedad**
4. **Suelo:** tipo acorde a la 2^{da} clasificación genética de los suelos en Cuba.
5. **Diseño Experimental**
6. **Tratamientos:** Se describirán por filas cada uno de los tratamientos empleados.
7. **Año/s:** años en los que se realizó el experimento.

8. **Desde/a:** fecha de siembra y cosecha
9. **Ciclo:** total de días del ciclo vegetativo
10. **Época**
11. **Técnica de Riego:** la técnica empleada en el experimento
12. **Autor principal**
13. **Publicado en**
14. **Localidad:** lugar donde se realizó el experimento.
15. **E_o (mm):** Evaporación total para el periodo del cultivo.
16. **ET_o (mm):** Evapotranspiración de referencia (suma para el periodo)
17. **ET_{max} (mm):** Evapotranspiración máxima del cultivo medida en lisímetro.
18. **ET_R (mm):** Evapotranspiración real total del cultivo según reporta el autor.
19. **R (t/ha):** rendimiento reportado por el autor.
20. **No. Riegos:** Numero de riegos
21. **Riego (mm):** cantidad total de agua aplicada como riego.
22. **Precipitación (mm):** Precipitación total caída durante el periodo del cultivo.
23. **Lluvia aprovechable (mm):** Lluvia aprovechable reportada por el autor.
24. **Agua total (mm):** Sumatoria de 21 y 22.

Cada artículo o información recopilada está indexado y con posibilidades de hipervínculos con los artículos completos que están disponibles en la biblioteca digital del IAgric.

Posteriormente se programó la base de datos para su colocación en la página Web del IAgric como parte del sistema de asesoramiento al regante y su consulta por parte de todos los usuarios interesados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta base de datos de los resultados experimentales en régimen hídrico desarrollados desde 1971 hasta 2009 por el antes Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, hoy Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, comprende la información de estudios realizados en:

- Más de 22 cultivos (ajo, bermuda, boniato, cebolla, col, frijol, garbanzo, lechuga, maíz, malanga, naranja, papa, papayo, pepino, pimiento, piña, plátano fruta, plátano vianda, sorgo, soya, tomate, toronja, yuca).
- 5 tipos de suelos (Aluvial, Ferralítico Rojo Compactado, Fersialítico Pardo Rojizo, Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado, Pardo con Carbonatos).
- Diferentes técnicas de riego (aspersión, superficial, localizado).
- Un rango amplio de manejos de riego, desde el límite productivo al 100% de la humedad correspondiente a la capacidad de campo (C_c) hasta tratamientos de secano.
- Y también se incluyen otras variables como: evaporación, consumo de agua, rendimientos, número de riegos, agua aplicada por riego, precipitaciones reportadas, lluvia aprovechable.

La base de datos está programada para su colocación en la página Web del IAgric. El sistema SIR 1.1 (Sistema Informativo para Regantes) es una aplicación Web que responde a encuestas, consultas y procesa información según los requerimientos del

cliente, basado en la búsqueda de información contenida en diversas tablas de datos asociados. Está diseñada en DELPHI 6, y puede ser instalada en los sistemas operativos que cuenten con la tecnología NT, corre sobre 32 MBytes de RAM y solo necesita 5 MBytes de espacio en disco duro para los sistemas básicos sin contar el espacio de las bases de datos. (Figura 1)



FIGURA 1. Herramienta SIR 1.1, Sistema Informativo para Regantes. Listado de todos los experimentos y Tabla con el nombre científico y la familia de 56 cultivos.

Esta base de datos de los resultados experimentales en régimen hídrico permitirá en etapas posteriores determinar para los diferentes cultivos su potencial de producción, así como la productividad agronómica del agua y el factor de respuesta del rendimiento como expresión de la función agua rendimiento.

A partir de estas curvas agua rendimiento pueden elaborarse reglas, con criterios técnicos económicos, para la distribución del agua disponible entre un grupo de cultivos a fin de maximizar la producción o la ganancia económica en condiciones de déficit hídrico. En el aspecto ambiental, su aplicación contribuye a un mayor control del riego que se le

aplica a los diferentes cultivos agrícolas, con lo cual se reduce el consumo del agua y la energía.

La Tabla 1 muestra los valores máximos y mínimos de rendimientos reportados para los cultivos disponibles en la base de datos. Como puede observarse los máximos rendimientos en todos los cultivos se obtuvieron para los tratamientos donde se mantuvo la humedad por encima del 80% de la capacidad de campo, mientras que los mínimos coinciden con los tratamientos donde solo se regó para garantizar la germinación (sin riego).

TABLA 1. Rendimientos máximos y mínimos, consumo, agua aplicada por riego, tratamiento de riego, variedad, época y autor principal de los cultivos disponibles en la base de datos

Cultivo	Variedad	Tratamientos de riego	Época	R(t/ha)	ETr (mm)	Riego (mm)	Autor Principal
Ajo	Sancti Spiritus No3	regar 100% Etm	Invierno	10,6	360,2	292,5	Montalvo M.
		sin riego		2,9	161,1	82,5	
Bermuda	Cruzada No.1	materia verde	Invierno	173,425	1638,4	580,8	Rey R.
	Cruzada No.1	materia seca	-	26,36	1158,6	-	Herrera J.
	Censa 78-425	85 % Cc	Verano	73,75	466,9	83,3	Castellanos A.
Boniato	Censa 78-425	sin riego	Invierno	20,5	312,9	0	
		85 % Cc		30,9	322,3	195	
	Clon cautillo	85 % Cc	Primavera	35,7	420,6	199,8	Pujol R.
Cebolla	Red Creole	regar 100% Etm	Invierno	18,7	424,4	366	León F, M.
		sin riego		3,9	-	103,6	
Col	-	con riego	Invierno	9,9	219	198	Sotolongo B.
Frijol	Negro/cueto 259	80 % Cc	Invierno	2,67	371,95	290,5	Giralt E.
		sin riego		0,63	-	33	
Garbanzo	N-6	riego c/15días	Invierno	1,27	178,6	100	Giralt E.
		riego c/21días		0,64	158,6	60	

Cultivo	Variedad	Tratamientos de riego	Época	R (t/ha)	ETr (mm)	Riego (mm)	Autor Principal
Maíz	Variedad T66	85 % Cc	Invierno	8,3	390,6	310	Sánchez A.
		sin riego		1,98	213,9	52,3	
Malanga	Isleña japon	85 % Cc	Primavera	6,22	386,6	207,98	Carrillo R. O.
		con riego	Invierno	33,4	759,36	565,7	
Naranja	Olenda Valencia	sin riego		11,3	463,68	17,6	Toledo E.M.
		85 % Cc	-	14,2	1497	571,2	
Papa	Spunta	Sin riego	-	12,1	927	242,4	Roque R. R.
		Zona 1 (mayor humedad)	Invierno	28,7	377	378	
	Zona 3 (menor humedad)		16,8	198	71		
	Baraka	Zona 1	Invierno	26,3	334	378	
		Zona 3		14,9	189	71	
	Kondor	Zona 1	Invierno	26,3	290	378	
Zona 3			15,8	191	71		
Desiree	Zona 1	Invierno	29,1	376	225		
	Zona 3		13,1	222	95		
Papayo	Maradol Roja	con riego	-	51,69	1094,8	156,6	Hernández G.
		sin riego		24,2	-	0	
Pimiento	Medalla de Oro	85 % Cc	Invierno	28,9	360,4	271,7	León F. M.
		sin riego		5,4	-	74,8	
		85 % Cc	Primavera	21,9	380	228,2	
Piña		sin riego		11	-	66	Bonet C.
		con riego	Invierno	35,4	882	539	
Plátano Fruta	Cavend Gig	sin riego		26,2	1101,6	0	Martínez R.
		90 % Cc		47,99	1379	425,3	
	Tetraploide	sin riego	Primavera	41,18	930	463,3	
		85 % CC		27,45	1014	101,8	
Plátano Vianda	Musa- AAA	85% Cc		43,66	1091	325	Socarras F,G
		sin riego		18,6	1250	145,7	
	Censa 3/4	85 % Cc	Primavera	32,87	1540	795,8	
		sin riego		15,9	1274,4	0	
Sorgo	Enana (verano)	85% Cc	Verano	4,95	458,3	186,8	Herrera J.
		sin riego		4,55	383	83	
	Enana (invierno)	75% Cc	Invierno	4,64	352,2	210,7	
		sin riego		3,47	235,2	82	
Soya	LV-4	con riego	Invierno	5,22		24,78	Montero L.
		sin riego		2,6		4,39	
	Blanco C-21	con riego	Invierno	8,64		177,54	
		sin riego		4,35		24,42	
Tomate	G-7 R-315	85 % Cc	Primavera	3,86	441,1	132,6	Castellanos A.
		sin riego	Invierno	0,8	145,4	45	
	Inifat-70	85 % Cc	Invierno	1,93	239,1	194,2	
sin riego			0,96	133,1	45		
Toronja	Campbell 28	100% ETM	Invierno	63,8	340,4	287,1	León F. M.
		sin riego		27,6		60,8	
Yuca	Clon señorita	80 % primero 10 días/70 % resto	Invierno	40,95	776,25	369,7	Portuondo M.A.
		sin riego		29,81	597,9	161,2	

Los cultivos con mayores necesidades hídricas son: malanga, yuca, plátano fruta, plátano vianda, papayo, piña, naranja, toronja y bermuda, cultivos con un ciclo relativamente largo y con las etapas más intensas de crecimiento y desarrollo en los meses de alta demanda evaporativa. En el otro extremo, los cultivos con menores necesidades son: ajo, cebolla, col, frijol, garbanzo, lechuga, siendo todos ellos cultivos que desarrollan sus ciclos agronómicos en meses de baja demanda evapotranspirativa.

Una comparación entre los rangos de consumo de agua y rendimientos para algunos cultivos bajo riego según el boletín 33 de FAO (Doorenbos y Kassam, 1986) y los valores en Cuba reportados en la base de datos se presenta en la tabla 2. Como puede apreciarse, excepto en la papa, frijol, piña y pimiento, los rendimientos en la mayoría de los cultivos están por debajo de los valores reportados por FAO.

Otro ejemplo de aplicación de esta base de datos se muestra en la Figura 2, donde a partir del procesamiento matemático y estadístico de los datos experimentales se obtuvieron dos de las funciones agua rendimiento para el cultivo de la soya. El modelo lineal fue el de mejor ajuste para la relación entre el rendimiento del grano de soya y la ET con un coeficiente de determinación de 0,91 (Figura 2A). La pendiente de la ecuación lineal nos muestra una eficiencia del agua evapotranspirada

de alrededor de 9,17 kg de grano de soya por cada milímetro adicional de agua.

Mientras que para la relación lineal entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración (Figura 2B) se obtuvo un factor de respuesta del rendimiento en el cultivo de la soya (K_y) de 1,34, superior al 0,85 obtenido por Doorenbos y Kassam (1986). Diferencias que pueden estar relacionadas con las variaciones en las condiciones climáticas, suelo y nivel de ET. Este alto valor de K_y significa que este cultivo no es tolerante al estrés hídrico, por lo que serán altas las pérdidas de rendimiento en condiciones de escasez de agua.

Una comparación entre las curvas rendimiento-consumo para diferentes granos se muestra en la Figura 3. El modelo lineal fue el de mejor ajuste para esta relación en todos los granos estudiados y nos permite conocer las diferentes eficiencias del agua consumida. La relaciones obtenidas en la Figura 3 explican porque el maíz es el cultivo elegido cuando prevalecen condiciones favorables del recurso agua, con una mayor eficiencia del agua consumida de 15,9 kg/ha de grano de maíz por cada milímetro adicional de agua consumida, mientras que el frijol se desempeña mejor cuando esta limitado este recurso.

TABLA 2. Rango de consumo de agua y rendimiento de algunos cultivos bajo riego según el boletín 33 de FAO (1986), comparados con los reportados en la base de datos de Cuba

Cultivos	FAO (Boletín 33)		Cuba		
	ET(mm)	R(t/ha)	ET(mm)	R(t/ha)	
Cereales	Maíz invierno		300-400	5,2 – 8,3	
	Maíz primavera	500-800	6-9	290-419	3,9 - 6,22
	Soya invierno		133-401	0,42 - 2,9	
	Soya primavera	450-700	2,5-3,5	209-441	1,36 - 3,86
	Soya verano		156-305	0,8 - 3,3	
	Sorgo invierno		213-413	3,09 – 4,64	
	Sorgo verano	450-650	3,5-5	370-491	4,2 - 4,95
	Frijol	300-500	1,5-2,0	280-372	1,6 – 2,98
	Garbanzo		150 - 293	0,5 - 1,27	
Hortalizas	Pimiento invierno		230 - 490	5,4 - 47,6	
	Pimiento primavera	600-900	10-15	250 - 370	4 - 22
	Tomate invierno	400-600	45-65	300-340	30 -63
	Col	380-500	25-35	200 - 220	8,6 - 9,9
	Cebolla	350-550	35-45	250 - 425	15 - 36
	Lechuga	-	-	-	8,3-10,3
Tubérculos	Ajo	-	-	216-360	7 - 10,6
	Papa	500-700	15-25	130-435	19 - 38,5
	Boniato invierno			250 - 320	20 -45,3
	Boniato primavera	-	-	350 - 545	14 - 73
	Malanga	-	-	550 -760	13 - 33,4
	Yuca	-	-	690-840	35 - 41
Frutales	Plátano fruta		900 - 1409	40 – 47,9	
	Plátano vianda	1200/año	40-60	900 -1630	15,9 - 32,8
	Papayo	-	-	1000 - 1300	25 - 52
	Piña	700-1000	75-90	800 -1491	90-100
	Naranja		25-40/año	500 -1500	12 -14,2
	Toronja	900-1200/año	40-60/año	1400-1550	20 - 35

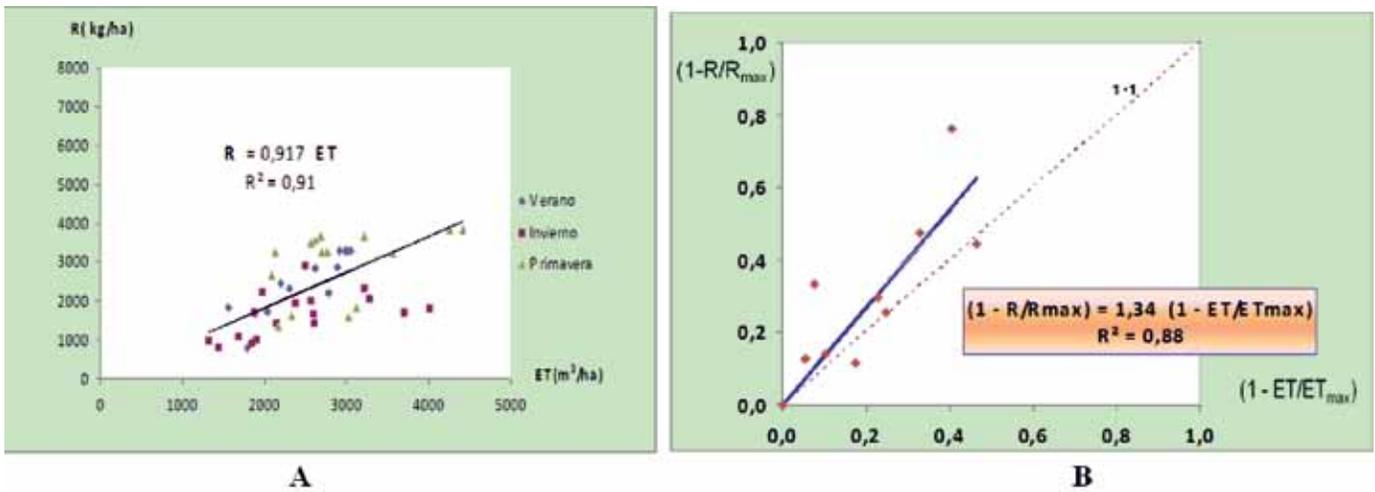


FIGURA 2. Funciones agua rendimiento para el cultivo de la soya.

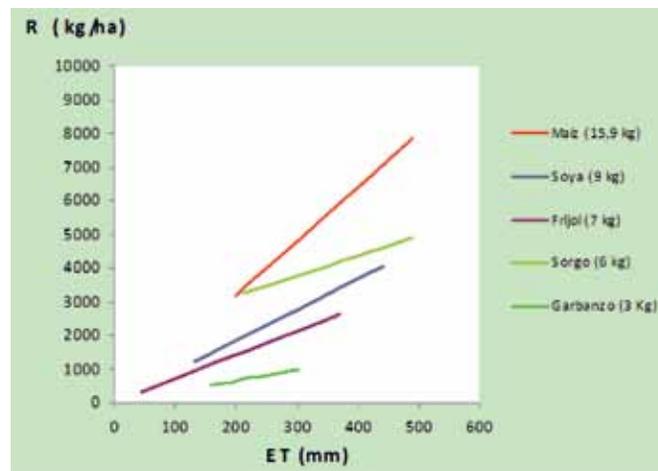


FIGURA 3. Evapotranspiración y rendimiento de grano en maíz, sorgo, soya, frijol y garbanzo.

CONCLUSIONES

Esta base de datos de los resultados de investigación de más de 30 años del IIRD en régimen hídrico permitirá a los profesionales de esta rama avanzar en los estudios de modelación

de la función agua/rendimiento en cultivos de interés agrícola y la puesta a disposición de investigadores, inversionistas, proyectistas y profesionales dedicados a la operación del riego, de toda esta información en una forma fácil de usar y sin costo experimental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H.: *Yield response to water. Irrigation and Drainage*, 193pp., Paper N° 33. FAO: Rome, 1986.
- DELIBALTOV, Y.: *Metodología para determinar la evapotranspiración real de los cultivos*, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), La Habana, (monografía), 1981.
- HERRERA J.; R. PUJOL; G. LOPEZ y J. REYES. *Estudio Básico para la Formulación de un Programa de Drenaje y Lucha Contra La Salinidad en Cuba*, FAO, Proyecto TCP/CUB/0167. (E), La Habana, 2004.
- LÓPEZ, T.; G. DUEÑAS, J. SIERRA, H. OZIER-LAFONTAINE, F. GONZÁLEZ, E. GIRALT, Y. CHATERLÁN y G. CID: "Simulación del manejo del riego y la fertilización nitrogenada del maíz sobre suelo Ferralítico del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(3): 59-66, 2001.
- LÓPEZ, T.: *Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del sur de La Habana: Contribución metodológica al procedimiento actual para la determinación de los Balances Hídricos*, 110pp., **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas)**, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)/Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), La Habana, 2002.
- TZENOVA, L. K. "Sobre la evapotranspiración y métodos para su determinación", *Ciencias Agropecuarias*, Universidad de La Habana, *Serie I. Ing. Agronómica*, La Habana, 1976.
- TZENOVA, L. K.: "Optimización del régimen de riego de los cultivos agrícolas". *Cienc. Tec. Agric. Riego y Drenaje*, 1(2): 1978.
- VAN EVERT F.K., E.J.A. SPAANS, S.C. KRIEGER, J.V. CARLIS & J. M. BAKER: "A database for agroecological research data": I. Data model, *Agron. J.*, 91: 54-62, 1999.