

Resultados de diferentes alternativas de manejo del riego superficial tecnificado en el cultivo de la papaya maradol roja plantada con marco extradenso

Results of different alternatives of handling of the surface irrigation technician in the maradol roja papaya crop with extra dense plantation mark

Ricardo Pérez Hernández¹, Esequiel Jiménez Espinosa¹, Lorenzo Montero San José¹, Orlando Sarmiento García¹
y Joaquín Guzmán Vizcaino¹

RESUMEN. El objetivo de este trabajo consistió en la realización de un estudio de diferentes manejos del riego por gravedad tecnificado, mediante evaluaciones de campo en el cultivo de referencia. El caudal de mejor comportamiento para el riego con flujo continuo con la variante de surcos abiertos de 130 m de longitud fue el de 1,56 l s⁻¹, con eficiencia de aplicación 61,8%, eficiencia de almacenamiento 97% y distribución 82,6%. Las pérdidas por escurrimiento superficial y percolación profunda fueron del 25% y 13% del volumen de agua aplicada, respectivamente. Para la variante de riego por surcos cerrados con dicho caudal, se obtuvieron incrementos en las eficiencias de aplicación y distribución, de 3,2 y 11,4% respectivamente, así como, un ahorro adicional total por concepto de los recursos agua y combustible de 232,8 pesos año⁻¹, respecto al riego por surcos abiertos. La variante de riego intermitente o por pulsos con 4 ciclos de tiempos variables, permitió lograr una eficiencia de aplicación del 85%, con un ahorro total de agua y combustible de 911.78 pesos anuales, asociado a una disminución del 24,37% del volumen total de agua suministrada por tonelada producida.

Palabras clave: evaluación, eficiencia, pulso.

ABSTRACT. The objective of this work was the realization of a study for different water handlings in the surface irrigation technician, means of field test in the reference crop. The flow of better behavior for the continuous flow watering with the open furrows variant of large 130 m, was 1,56 l s⁻¹, with application efficiency of 61,8%, storage efficiency of 97% and distribution 82,6%. The lost for superficial glide and deep percolation were of 25,2% and 13,0% of the applied water volume, respectively. For the irrigation variant for closed furrows with this flow, increments of the application and distribution efficiencies were obtained, of 3,2% and 11,4% respectively, as well as, an additional total saving of the water and fuel resources of 232,8 pesos year⁻¹, overcoming to the watering by opened furrows. The intermittent irrigation variant or for pulses with 4 cycles of variable times, allowed to achieve an application efficiency of 85%, with a total saving of water and fuel of 911.78 pesos year⁻¹, allowing a decrease of 24,37% of the total volume of given water per produced ton.

Keywords: test, efficiency, surge.

INTRODUCCIÓN

En Cuba el riego superficial ocupa el 71% del área total irrigada según el Ministerio de la Agricultura (2006). Las condiciones climáticas adversas en Cuba, debido a la sequía agrícola y desertificación, obligan a la implementación de la mecanización y automatización de este método de regadío a

escala de producción, mediante formas de entrega de agua más eficientes. Como parte del esfuerzo realizado en transferencia de tecnología, el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD) desarrolló entre finales de la década del 90 y principios del 2000, un prototipo de válvula cubana de aluminio, tipo T bidireccional y el programador o controlador para riego intermitente, (Rodríguez *et al.*, 2007). En el presente trabajo

Recibido 12/10/09, aprobado 23/07/10, trabajo 35/10, investigación.

¹ Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje. Apdo. 6090 Habana 6, Ciudad de La Habana, Cuba. Telf: (537) (07)-691.2533;
E-[✉](mailto:ricardo@iird.cu): ricardo@iird.cu. E-[✉](mailto:essequiel@iird.cu): essequiel@iird.cu. E-[✉](mailto:lorenzo@iird.cu): lorenzo@iird.cu.

se exponen los resultados de generalización alcanzados en la referida área, con la misma tecnología de riego y sistema de plantación reportado por Pérez *et al.* (2008), para el plátano Musa AAB, pero en este caso, en el cultivo de rotación Papaya Maradol Roja.

Objetivo del trabajo: estudiar diferentes alternativas de manejo del agua con el riego superficial tecnificado, mediante evaluaciones de campo en el cultivo de la papaya, variedad Maradol Roja con marco de plantación extradenso, que propendan a la sostenibilidad de los recursos agua y energía.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en el sur de la Provincia La Habana, latitud: 22°46'N, longitud: 82°37'W y altitud 6 m sobre el nivel del mar. El cultivo fue plantado a finales del mes de octubre del 2008 y se cosechó entre agosto y septiembre del 2009. El suelo con pendiente longitudinal de 0,24%, se clasificó como: Ferralítico Rojo Compactado (FRC), según cita Pérez *et al.* (2008), y Nitisol Rodico Eutrico Arcilloso según (WRB 2006). Durante el 2009 las lluvias fueron escasas y pobres en magnitud, correspondiendo al mes de junio el valor mayor de 254 mm. El sistema de campo básicamente constó de: un tanque para la disipación de la energía del agua procedente de un hidrante, una válvula T mariposa bidireccional de fabricación nacional (IIRD) que se acopla por el centro a la tubería de salida del tanque, y por ambos extremos, a las tuberías flexibles (mangas) con las válvulas regulables de entrega de agua a los surcos insertadas a las mismas (Figuras 1 y 2), (Pérez *et al.* 2008).



FIGURA 1. Válvula T mariposa IIRD.



FIGURA 2. Tubería flexible con válvulas regulables.

Según Rodríguez, *et al.* (2009), la Maradol Roja es una variedad de origen cubano, y hoy día, es la principal variedad comercial en el país. Por su parte, Hernández *et al.* (2003), en 7 tratamientos con riego localizado en el área citada, obtuvieron para este cultivo un peso entre 12 y 27,93 kg/planta, con rendimientos entre 22 y 51,69 t/ha, mientras que Rodríguez *et al.* (2007), en el mismo lugar y empleando el método de riego anterior, pero con marcos extradensos, reportaron un rendimiento medio de 57,38 t/ha y un peso promedio por planta de 17,21 kg, así como 10,75 frutos promedios por planta, en un marco de plantación de 2x1x4 m. Para los trabajos de campo y procedimientos de calculo, se tuvieron en cuenta las formulaciones y los aspectos metodológicos descritos por Elliott y Walter (1980), Walter (1989), Pérez (1995), Díaz *et al.* (2001) y Pérez *et al.* (2008). Los surcos se construyeron, uno por el centro de la entre líneas de las plantas, y otro por ambos bordes de la calle ancha (3 surcos). Se emplearon varios software, entre estos, el SIRMUD, Universidad de UTAH, (USU 1993). Se aplicaron criterios reportados por Díaz (2000) y Díaz *et al.* (2001), sobre evaluaciones del riego por pulsos. Las alternativas de manejo del riego fueron: riego con flujo de agua continuo (RC), en surcos abiertos y en surcos cerrados, así como, el riego con flujo de agua intermitente o por pulsos (RI), con ciclos de tiempos variables (3 y 4). Mediante el accionamiento manual de la válvula se realizaron los cambios de tiempos en ON (tiempo de riego de un set) y OFF (tiempo en que la válvula bidireccional riega el otro set). Para ambos casos (RC y RI), se determinó la eficiencia de campo (Ec) como el producto de las eficiencias referidas, la cual, según Pérez (1992), permite la caracterización general del evento de riego en la parcela o predio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A pesar de las fumigaciones realizadas, de un total de 2 640 plantas sembradas, se afectaron 550 las cuales fueron cortadas, sacadas y quemadas fuera del área de la plantación, quedando 2090 plantas en buen estado. A partir de las mediciones y pesajes en 20 plantas, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 1. Las mediciones de alturas de las plantas tomadas en las fechas, 30/01/09, 24/04/09, 10/07/09 y 31/07/09, arrojaron valores medios de: 0,60, 1,51, 1,57 y 1,58 m, respectivamente. Los resultados obtenidos en relación al peso medio por planta fueron y similares al valor superior reportado por Hernández *et al.* (2003), mientras que los frutos por planta reportados por Rodríguez. *et al.* (2007) resultaron inferiores, no obstante, los niveles medios de producción obtenidos coinciden con los resultados obtenidos.

En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de infiltración (K y n) y de avance (a, b, p, r) para condiciones de riego con flujo continuo (RC), demostrando los altos valores del coeficiente de determinación R² el buen ajuste de los datos de campo.

TABLA 1. Resultados de las mediciones

Fecha	Diámetro fruto (m)	Largo (m)	Prom. Frutos por planta	Rend. medio (t ha ⁻¹)
15/07/09	Media 3 muestras 0,16	Media 3 muestras: 0,326	18	
31/07/09	Media 3 muestras 0,17	Media 3 muestras: 0,33	Peso medio por fruto (kg)	56,67
24/08/09	Media 6 muestras	Media 6 muestras:	1,506	
05/09/09	0,156	0,315		

TABLA 2. Parámetros de infiltración y de avance del agua con riego con flujo continuo

RIEGO CON FLUJO DE AGUA CONTINUO								
Infiltración. Kostiakov modificado				Parámetros de avance del agua				
Q L/s	K (m ³ m ⁻¹ min)	n	f o (m ³ m ⁻¹ min)	a	b	p	r	R2
2,4	0,0115	0,404	0,000991	0,0235	1,57	10,9	0,637	0,9987
2,0	0,0137	0,422	0,000856	0,0476	1,538	7,24	0,650	0,9992
1,56	0,0157	0,358	0,000734	0,0745	1,485	5,74	0,673	0,9978

En la Figura 3 se representa el comportamiento de la fase de avance para los caudales de 1,56 y 2,0 L/s, respectivamente, con los datos de campo y simulados. Se encontró un buen solape entre ambos pares de curvas, lo que corrobora la efectividad del software citado, no obstante existir deficiencias constructivas en la segunda mitad de los surcos. En la Tabla 3 se resumen los resultados obtenidos para las eficiencias de cada evento de riego, incluida la uniformidad absoluta de la distribución del agua en el suelo (UAD), las pérdidas de agua totales y las debidas al escurrimiento superficial en la cola de los surcos. Los resultados demostraron que el caudal de mejor comportamiento respecto a la eficiencia de aplicación con RC fue 1,56 L/s, con menores pérdidas de agua totales. Para este caudal mediante el riego con surcos cerrados, se obtuvo un incremento de las eficiencias de aplicación y distribución de 3,2 y 11,4%, respectivamente; lográndose una la eficiencia de aplicación del 65% y una eficiencia de campo con el sistema de riego tecnificado de 61,1%.

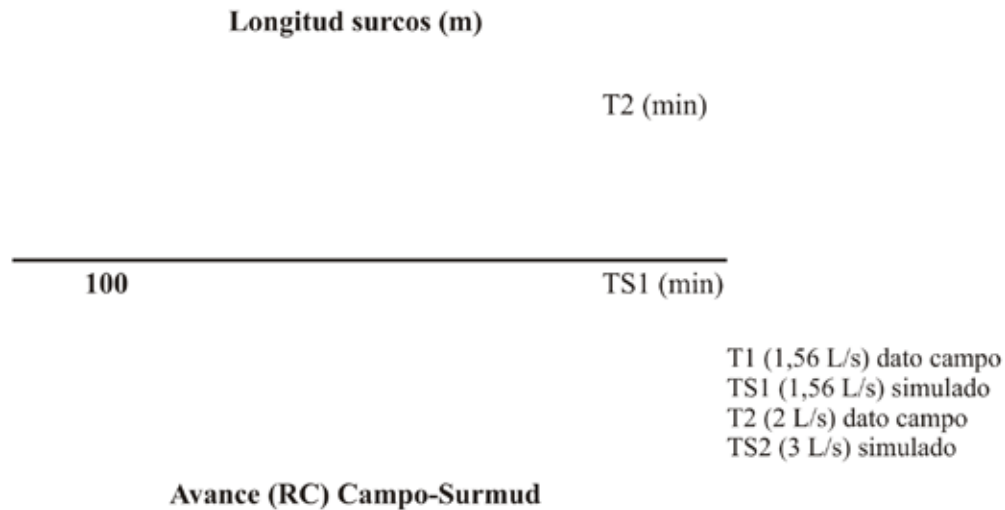


FIGURA 3. Fases de avance en el riego continuo.

TABLA 3. Resultados de las eficiencias del riego con flujo continuo (RC)

Q (L/s)	D _{np} (m)	Z _{eq.}	Z _{inf. media}	Z _{inf. cola}	T aplic. (min)	Eap (%)	Ealm. (%)	Ed (%)	UAD (%)	Perd. Tot. (%)	Perd. Esc. (%)
2,4	37,45	0,056	0,064	0,054	97	53,0	98,0	88,0	84,0	46,2	38,3
2,0	28,64	0,043	0,072	0,041	97	48,0	98,5	70,6	56,5	52,0	19,7
1,56	43,00	0,065	0,078	0,058	140	61,8	97,0	82,6	74,7	38,2	25,2

Donde, Dnp: dosis neta parcial, Zreq, Zinf media y Zinf cola: láminas de infiltración, requeridas, medias e infiltradas en la cola de los surcos y expresadas en (m³·m⁻¹·min).

Para el caudal de 2 L/s, el manejo del riego referido propició incrementos de las eficiencias de aplicación y distribución de 2,0 y 15,4%, respectivamente, lográndose en ambos casos, la infiltración de la lámina de agua requerida en toda la longitud de los surcos, sin pérdidas por escurrimiento superficial. El caudal evaluado de 2,4 L/s, aunque con satisfactorios resultados, se descartó por causar ligera erosión en puntos cercanos a la cabecera de los surcos. En las figuras 4 y 5 se muestra el comportamiento del manejo del agua mediante el RI, con 4 ciclos, el cual resultó más favorable que el de 3 ciclos.

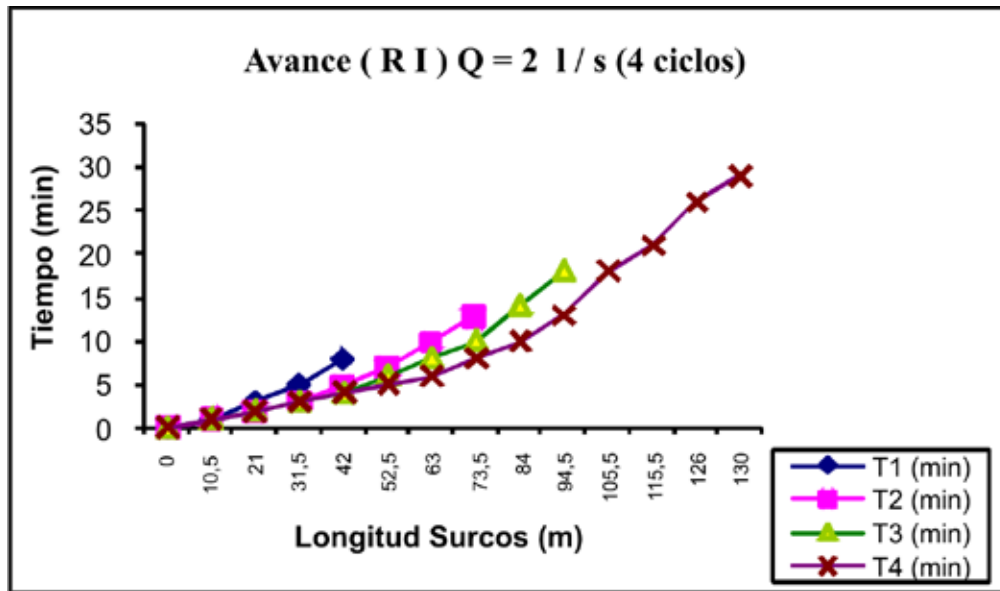


FIGURA 4. Ciclos de avance Q=1,56 L/s.

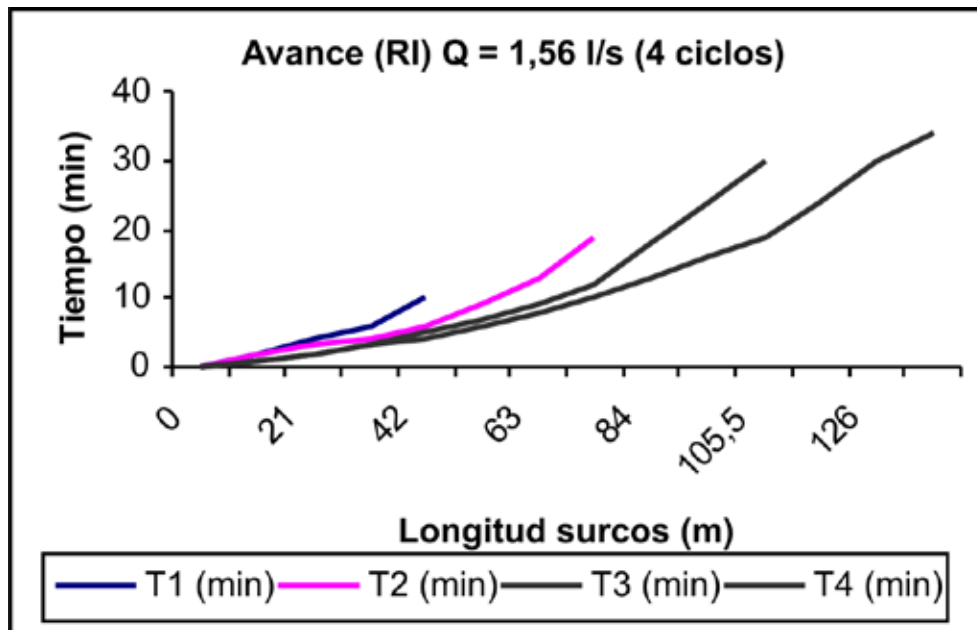


FIGURA 5. Ciclos de avance Q=2 L/s.

En la Tabla 4 se presentan los coeficientes de infiltración del agua en el suelo obtenidos, así como, los de avance del agua a través de los surcos de riego. Los valores obtenidos para la infiltración básica en los ciclos 3 y 4 resultaron menores que los del primer ciclo, esto corrobora el planteamiento de Díaz (2000), en relación a que se evidencia la reducción de la tasa de infiltración del agua en el suelo motivada por la consolidación, encrostramiento superficial y atrape del aire bajo el régimen de flujo discontinuo.

TABLA 4. Parámetros de infiltración y avance del agua en el riego con flujo intermitente

RIEGO CON FLUJO DE AGUA DISCONTINUO (RI)								
Q (L/s)	Ciclos	Infiltración. Kostiakov modificado			Parámetros de avance del agua			
		K (m ³ m ⁻¹ ·m)	n	f o (m ³ m ⁻¹ ·m)	a	b	p	r
2,0	1	0,0144	0,293	0,000990	0,0014	2,323	17,16	0,43
	3	0,0087	0,369	0,000357	0,0027	1,895	22,85	0,528
	4	0,0061	0,512	0,000126	0,0016	2,0178	24,5	0,496
1,56	1	0,0056	0,460	0,000710	0,005	2,04	13,58	0,49
	3	0,0005	0,989	0,000212	0,0021	2,053	20,04	0,487
	4	0,0006	0,990	0,000183	0,0036	1,887	19,75	0,53

La variante de riego intermitente (RI), originó valores superiores de reducción del volumen de agua aplicada durante la fase de avance respecto al RC con ambos caudales (1,56 y 2,0 L/s), así como, incrementos notables para la eficiencia de aplicación de 85 y 74%, respectivamente, con excelente uniformidad de la distribución de la humedad en el suelo en toda la longitud de los surcos (Figura 6). La eficiencia de campo (Ec) para el caudal de 1,56 L/s aumentó a 77,4%, resultados muy superiores a los que permiten los sistemas de riego superficial convencionales actuales.

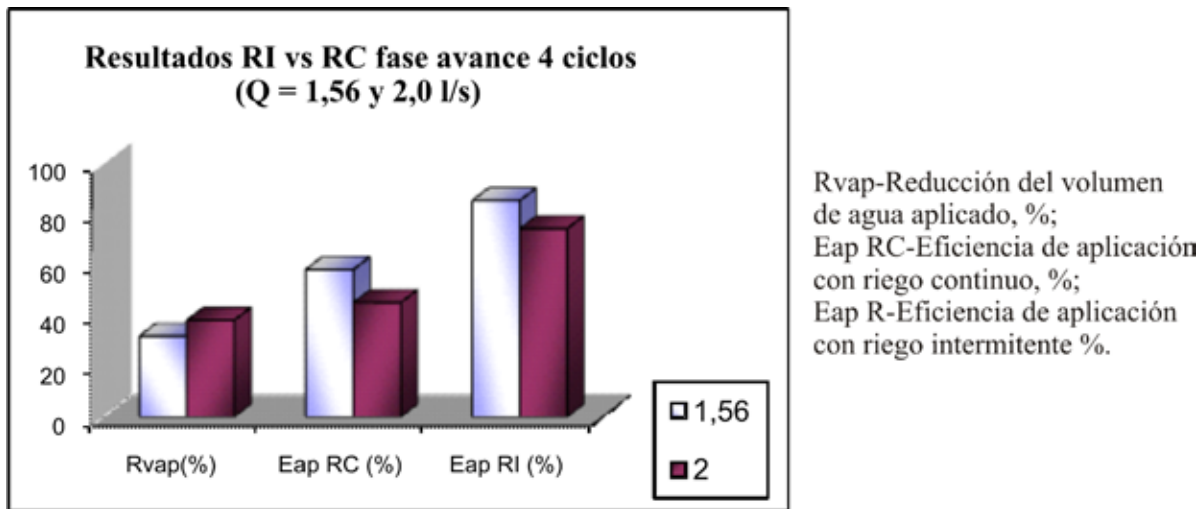


FIGURA 6. Resultados del riego intermitente.

Los costos de riego ascendieron a 5 311.35 pesos, incluyendo los gastos de agua 446.4 pesos, combustible 1 512 pesos y mantenimientos 130 pesos, entre otros. El valor de la inversión de la tecnología aplicada fue de 1 429.5 pesos. En la Tabla 5 se presentan los ahorros de agua y energía propiciados por el caudal de 1,56 L/s, respecto al de 2 L/s y calculados comparativamente para los 36 riegos efectuados y variantes de riego analizadas.

TABLA 5. Ahorros de los recursos agua y energía Q=1,56 L/s en relación al Q=2 L/s

Ahorros variantes de riego	m ³ /riego	Agua		Diesel		
		Totales m ³	Totales peso	Peso/riego	Totales peso	Totales peso agua-energía
RC						
S. Abiertos	169,15	6 089,4	127,9	12,0	432,0	559,9
S. Cerrados	29,96	1 078,6	23,9	2,5	81,0	232,8
(Ahorros Adicionales)						
RI						
4 ciclos variables	119,13	7 168,0	207,9	19,55	703,9	911,8

Mediante el riego continuo, se obtuvieron ahorros de agua y combustibles complementarios muy satisfactorios para la variante con surcos cerrados, con un ahorro adicional de agua de 1 078,6 m³ en los 36 riegos aplicados, para un total (agua y combustible) de 232,8 pesos, lo que demuestra la efectividad

técnico – económica de esta alternativa de riego. El RI con 4 ciclos, respecto al RC, propició los mayores ahorros totales de agua y energía, alcanzando 911,8 pesos, resultados sin precedentes en nuestro país.

CONCLUSIONES

- Con el caudal de 1,56 L/s se destacó la ventaja del riego por surcos cerrados, respecto a los surcos abiertos, tanto en incrementos de las eficiencias del riego, como en ahorros superiores de agua, combustible, grasa y aceite, lo que evidencia el buen manejo sostenible de dichos recursos. Resultó relevante, el alto valor obtenido para las eficiencias de aplicación 65% y eficiencia de campo o general del riego con la tecnología de referencia 61,1%.
- El riego intermitente permitió incrementar la eficiencia de aplicación en un 27 y 26%, para los caudales de 1,56 y 2,00 L/s respectivamente, en relación al RC. Por consiguiente,

se logró una disminución significativa de los volúmenes de agua y combustible, con una favorable reducción de sus respectivos costos. Resultaron destacados los valores obtenidos para las eficiencias de aplicación 85% y la de campo 77,4% con el caudal de 1,56 L/s respecto a los sistemas de riego superficial convencionales actuales, así como un ahorro de 102 m³ de agua/t de papaya producida, lo que equivale a una disminución del 24,37% del volumen total de agua suministrada (riego y precipitaciones) por cada tonelada producida, respecto al riego continuo. Lo que demuestra aún más, las ventajas técnicas, económicas y ambientales, del RI respecto al RC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DÍAZ, A.: *Evaluación, Manejo, y Diseño del Riego por Pulsos para el cultivo del Tabaco en un Ferrosol*, 85pp., **Tesis (en opción al título de Master en Riego y Drenaje)**. Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2000.
- DÍAZ A.; J. A. RODRÍGUEZ; J. REYES: *Determinación de las Estrategias Óptimas de Manejo del Riego por Pulsos para un suelo Ferralítico Rojo*, pp. 11–13, Editora Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales – Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Revista Ventanilla, La Habana, Cuba, 2001.
- ELLIOTT, R.L.; W.R. WALKER: *Furrow irrigation infiltration and advance functions*. ASAE, Paper No. 80-2075, Am. Soc. of Agric. Engrs., St. Joseph, Michigan, USA, 1980.
- HERNÁNDEZ, G.; R. MARTÍNEZ; R. REY: “Elementos Agronómicos para el riego localizado en el cultivo del papayo” *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 12(2): 55-60, 2003.
- MINISTERIO DE LA AGRICULTURA: *Balance Nacional de Áreas bajo riego (cierre 2005)*, 203pp., Vice ministerio de Mecanización e Instituto de Riego y Drenaje, MINAG, La Habana, Cuba, 2006.
- PÉREZ, HERNÁNDEZ R.: *Determinación de la efectividad del riego por surcos y de la Hidrometría de explotación para la caña de azúcar*. **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas)** Universidad Agraria de La Habana. Facultad de Agronomía, Dpto. Riego y Drenaje, La Habana, Cuba, 1992.
- PÉREZ, R.: *Metodología para la evaluación del riego por surcos*, 25pp., Ed. CNCA–MINAZ, La Habana, Cuba, 1995.
- PÉREZ, R.; E. JIMÉNEZ; L. MONTERO; R. CUN; O. SARMIENTO: Resultados de la Modernización del Riego superficial en el cultivo de Plátano extra denso. En: **Memoria del Taller Internacional Red Riegos CYTED. Florianópolis, Brasil**, 2008.
- RODRÍGUEZ, A.: *Guía para el Manejo Agroecológico de Papaya Maradol Roja*, 34pp., Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical, “Alejandro Humboldt”, *Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales/Serie Agricultura Suburbana*, Primera Edición. La Habana, Cuba, 2009.
- RODRÍGUEZ, M. R.; R. REY; J. STINCER; F. GONZÁLEZ; O. SARMIENTO: “Resultados de la aplicación del riego por goteo en la rotación de plátano CENSA $\frac{3}{4}$ con papaya Maradol Roja, plantados con marcos extradensos”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3): 9-14, 2007.
- RODRÍGUEZ J. A.; J. REYES; M. FELIPPE: *Tecnología Integral de Riego Superficial Convencional en Cultivos Varios*, 18pp., Informe de investigación, IIRD, La Habana, Cuba, 1999.
- RODRÍGUEZ, J. A.; M. FELIPE; J. REYES: Comparación entre el riego por surcos continuo e intermitente en un suelo Ferralítico Rojo Hidratado del Sur de la Habana. En: **Memorias del Primer Evento científico internacional TERYDAC 95**. Ciego de Ávila, Cuba, 1995.
- RODRÍGUEZ, J. A.: *Caracterización del Proceso de Infiltración en el Riego por Surcos con Flujo Continuo. Desarrollo Teórico*. **Tesis (en opción al título de Master en Ciencias en Riego y Drenaje)**, Universidad Agraria de La Habana–Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Cap. 3 y 4. La Habana, Cuba, 2000.
- RODRÍGUEZ, L.; J. VILLANUEVA; L. CHONG; J. REYES; R. PÉREZ; R. PUJOL: Desarrollo de la tecnología de riego por gravedad con flujo intermitente, En: **III Congreso Internacional de Riego y Drenaje. Cuba Riego**. ISBN 978-959-246-194-9. C114, La Habana, Cuba, 2007.
- USU. SIRMOD: “The surface irrigation model; User’s guide”, Irrigation Software Engineering Division. Dept. of Biological and Irrigation Engineering. Logan, Utah, Theory, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 114(1): 4-17, 1993.
- WRB. IUSS: Working Group. World referente base for soil resources. *World Soil Resources Reports* No 103,128 pp. FAO, Rome, 2006.
- WALKER, W.R: *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation system*, 137pp., FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 45, Rome, 1989.