

ARTÍCULO ORIGINAL

Influencia de la velocidad de las máquinas de riego móviles (enrolladores) con diferentes aspersores

Influence of the displacement speed of the mobile irrigation machines (reel machines) with different sprinklers

M.Sc. Lorenzo Montero San José, M.Sc. Esequiel R. Jiménez Espinosa, M.Sc. Reinaldo Cun González,
Dr.C. Manuel R. Rodríguez García

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

RESUMEN. El trabajo se realizó en diferentes escenarios productivos de la provincia Artemisa, Cuba, con el objetivo de determinar el efecto de la velocidad de desplazamiento de las máquinas de riego móviles (enrolladores) con diferentes aspersores, en las láminas de agua aplicada durante su trayectoria sobre el terreno. Los parámetros de calidad de riego fueron determinados mediante la norma NC ISO 8224-1:2011. Como resultados se obtuvieron que los valores más estables de las láminas de agua aplicadas entre el borde superior y el borde inferior del campo (inicio y final del recorrido del enrollador), fueron para el aspersor IRRIMEC/SYNKRO con rango entre 1,14 y 2,9 mm, con diferencias de velocidades de desplazamiento entre 6,2 y 6,68 m/h, mientras que los valores más desfavorables en cuanto a diferencias de láminas de agua aplicadas, fueron detectadas para el VALDUCCI/KOMET-TWIN-160 y FABREZ RANGER con valores entre 11,5 a 15,19 mm y 24,73 mm a velocidades de 9,5 a 12,45 m/h y 19,25 m/h respectivamente. En los enrolladores estudiados se demostró que las láminas de agua aplicadas no se distribuyen uniformemente en todo el campo durante el recorrido de los aspersores.

Palabras clave: escenarios productivos, calidad del riego, lámina de agua.

ABSTRACT. The work was carried out in different productive areas of the province Artemisa, Cuba, with the objective of determining the effect of the speed of displacement of the mobile irrigation machines (reel machines) with different sprayers, in the sheets of water applied during its trajectory on the land. The parameters of watering quality were determined by means of the standard NC ISO 8224-1:2011. As results they were obtained that the most stable values in the sheets of water applied between the superior border and the inferior border of the field (beginning and final of the travel of the winder), were for the sprinkler IRRIMEC/SYNKRO with range between 1.14 and 2.9 mm, with differences of displacement speeds between 6.2 and 6.68 m/h, while the most unfavorable values for differences of applied sheets of water were detected for the VALDUCCI KOMET-TWIN-160 and FABREZ RANGER with values among 11.5 to 15.19 mm and 24.73 mm in speeds from 9.5 to 12.45 m/h and 19.25 m/h respectively. In the studied winders it was demonstrated that the applied sheets of water are not distributed evenly in the whole field during the journey of the sprinklers.

Keywords: productive scenarios, quality of the irrigation, sheet of water.

INTRODUCCIÓN

En el país se han importado diversos modelos de enrolladores con una amplia diversidad de particularidades técnicas, las cuales no han sido estudiadas detalladamente, en su interrelación con el medio ambiente. Por tal motivo, para el manejo del riego a los productores es necesario conocer si los enrolladores cumplen con las exigencias técnicas actuales, y si presentan ventajas o desventajas en relación con otros métodos de riego vigentes en

los sistemas productivos agrícolas (Montero *et al.*, 2012).

En la última década estos equipos han progresado ampliando su utilización en terrenos con pendientes considerables, además de lograr un alto aprovechamiento de la energía hidráulica, debido al diseño de turbinas más eficientes y también a nuevas generaciones de aspersores y alas sobre carro (Manual de Instrucciones¹ IRTEC, 2009; Allen *et al.*, 2000; Uribe *et al.*, 2001).

¹ MANUAL DE INSTRUCCIONES: Tecnología para Riego IRTEC, Catálogo General. 30pp. Comercializadora FABREZ. 2009.

Para sustentar la producción agrícola en los años venideros es importante la mejora de los sistemas de riego, ajustado a la aplicación de agua en los requerimientos hídricos de los cultivos, teniendo en cuenta los aspectos de calidad y cantidad en la conservación de los recursos agua y suelo (Delirhasannia *et al.*, 2010), así como el incremento del riego con el consiguiente crecimiento de los rendimientos de las cosechas (Silva y Williams 2001; Jabbarian & Nakane, 2009; Al-Mefleh y Tadros, 2010).

Según Tarjuelo (2005), plantea que los sistemas de riego con cañones han sido muy criticado por el gran tamaño de gota (que puede dañar la estructura del suelo y el cultivo), la elevada presión de trabajo, la alta pluviometría y la mala uniformidad de reparto de agua.

En este sentido la variación de la velocidad de desplazamiento de los enrolladores es uno de los principales parámetros a tener en cuenta en la explotación de estas máquinas móviles de riego, ya que durante su funcionamiento proporcionan las

cantidades de agua a aplicar a los cultivos.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar el efecto de la velocidad de desplazamiento de las máquinas de riego móviles (enrolladores), con diferentes aspersores en la aplicación de las dosis de agua durante su trayectoria.

MÉTODOS

El trabajo se realizó en diferentes escenarios productivos de la provincia Artemisa, Cuba. Para la determinación de los parámetros de calidad de riego se utilizó la norma NC ISO 8224-1 (2011). En la Tabla 1, se muestran los escenarios productivos, así como algunas características de los equipos evaluados. Todos los sistemas con enrolladores están diseñados para un 25% de solapamiento entre aspersores.

TABLA 1. Enrolladores evaluados en varios escenarios productivos y características de los aspersores según fabricante

Enrollador	Escenario productivo	Marca /modelo	Valores seleccionados durante el estudio		Valores en los catálogos según Fabricantes		
			Diámetro boquilla (mm)	Presión (bar)	Gasto L/s	Lámina teórica (mm)	Velocidad desplazamiento teórica (m/h)
1	UCTB del IAgri, Pulido Alquizar.	BAUER / AUTORAIN ROBOT 50-90	10	4	2,66	11	18,5
			14	2	3,27	18	14,8
			14	3	4,00	24	12,3
2	UCTB del IAgri, Pulido Alquizar	IRRIMEC / SYNKRO	18	3	5,00	20	34,0
			22	2	7,30	10	42,0
			22	4	8,95	10	37,0
3	El Cerezo, Cítrico Ceiba	VALDUCCI / KOMET- TWIN-160	25	3	11,30	30	18,5
			25	4	11,30		19,2
			30	3	16,30	40	18,9
4	BSR, M. Fajardo. MINAZ	FABREZ / RANGER	26	4	14,43	-	-

La uniformidad del riego fue evaluada usando el Coeficiente de Uniformidad (CU) de Christiansen (Christiansen, 1942), mediante la siguiente expresión:

$$CU = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |C_i - M_c|}{\sum_{i=1}^n C_i} \right] \cdot 100 \quad (\%) \quad (1)$$

donde:

CU: coeficiente de uniformidad de Christiansen en %;

n: número de colectores usados en el análisis de los datos;

Ci: valor recogido por cada colector;

i: número asignado para designar un colector en particular;

Mc: volumen promedio medido del agua recogida. Se

calcula como:

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (2)$$

En los casos de la Unidad Científico Técnica de Base (UCTB) del Instituto de Ingeniería Agrícola (IAgri) en Pulido, Alquizar y El Cerezo en Cítrico Ceiba, Caimito aparecen varias mediciones en un mismo enrollador, debido a evaluaciones realizadas en diferentes momentos durante el desarrollo de un proyecto de investigación (Montero *et al.*, 2009²).

Los suelos donde se ejecutó el estudio son del tipo Ferralíticos Rojos siendo descritos de acuerdo a la última clasificación de suelos establecida en el país por Hernández, *et al.* (1999) y su correlación, todos con topografía llana.

² MONTERO, L; M, DOMÍNGUEZ; R. PÉREZ; R. CUN Y E. JIMÉNEZ: Estudio Técnico-Económico de la tecnología de riego con aspersor viajero sectorial (enrolladores) en el cultivo del plátano, Informe final de proyecto de investigación, Código 22-36. IAgri. MINAG. Cuba. 26pp. 2009.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2, se aprecia el resultado de los parámetros de calidad del riego de las evaluaciones realizadas a los cuatro aspersores estudiados, al analizar la velocidad del viento como factor climático que afecta dicha calidad, se puede observar que los valores promedios varían entre 2,9 y 3,3 m/s, superan al valor de la velocidad máxima permisible para el riego por aspersión que es de 2,5 m/s (Tarjuelo, 2005). Es de señalar que este comportamiento en la velocidad del viento fue producto a algunas ráfagas ocasionales ocurridas durante el trabajo con el aspersor IRRIMEC/SYNKRO y la boquilla con 22 mm de diámetro. Sin embargo este aspersor fue el que mejores resultados alcanzó en los demás parámetros investigados.

En relación a las láminas de agua aplicadas (Tabla 2), se observa que en todos los enrolladores evaluados en las diferentes condiciones del estudio, existe una tendencia a la disminución en las cantidades de agua distribuida a medida que los equipos se desplazaban a lo largo del campo, mientras que la velocidad de desplazamiento aumentaba por lo que podemos decir, que existió en todos los casos un movimiento heterogéneo de los enrolladores con variadas entrega de agua por los diferentes aspersores.

Los valores más bajos obtenidos en las diferencias de las láminas de agua determinadas entre el borde superior y el borde inferior del campo (inicio y final del recorrido del enrollador), fueron observadas en el aspersor IRRIMEC/SYNKRO en las tres evaluaciones realizadas variando en el rango entre 1,14 y 2,9 mm, y con diferencias de velocidades de desplazamiento entre 6,2 y 6,68 m/h respectivamente, siendo estas las más estables. Para el enrollador BAUER/AUTORAIN ROBOT 50-90 las diferencias estuvieron marcadas entre 1,61 y 4,15 mm de lámina de agua con velocidades entre 4,43 y 10,25 m/h mostrándose este en el segundo lugar de mejor comportamiento, mientras que los resultados más desfavorables en cuanto a diferencias de láminas de agua aplicadas, fueron detectadas para los equipos VALDUCCI/KOMET-TWIN-160 y FABREZ RANGER con valores entre 11,5 a 15,19 mm y 24,73 mm a velocidades de 9,5 a 12,45 m/h y 19,25 m/h respectivamente.

Tomando en consideración los valores de las diferencias de la menor y mayor lámina de agua aplicada, descritas anteriormente como resultados de las variaciones de la velocidad de desplazamiento de los enrolladores, podemos asumir que

existen áreas a lo largo del campo que dejan de recibir la lámina de agua necesaria oscilando entre 11,4 y 247,3 m³/ha. Estos resultados nos indican que los enrolladores no distribuyen las dosis de agua calculadas de forma uniforme en todo el campo durante su trayectoria, disminuyendo las mismas a medida que se desplazan desde un extremo del campo a otro, resultados similares fueron obtenidos por Tarjuelo (2005), donde plantea que estas máquinas suelen desplazarse a velocidades de 10 a 50 m/h, disminuyendo la dosis de riego conforme aumenta ésta la velocidad. Otros investigadores como Wigginton & Raine (2001)³, reportan que con los enrolladores con cañones han obtenido inapropiadas uniformidades de distribución de agua aplicada en los extremos del campo, con amplio rango desde 1 a 88% del valor nominal que tiene un valor promedio de 62%. También Miodragović *et al.* (2012), logran variaciones en la distribución de los valores de las dosis de agua aplicada en enrolladores con cañones, en un rango que oscila desde 10 a 30 mm considerándolo una gran diferencia en el riego, comparado con su valor nominal que fue de 20 mm.

Los valores deducidos de los porcentajes de los coeficientes de uniformidad del reparto de agua aplicada, en los bordes superiores e inferiores de las parcelas por los enrolladores estudiados (Tabla 2), muestran calificaciones de muy bueno a bueno en la mayoría de los casos según los criterios aportados por Merriam & Keller⁴ (1978), con excepción de las clasificaciones alcanzadas por el aspersor VALDUCCI/KOMET-TWIN-160 valorada de inaceptable con valores entre 61,71% hasta 72,50%, por debajo del 75% considerado este último por los autores anteriormente mencionados como límite no aceptable para la uniformidad del riego con aspersores, la falta de uniformidad en este enrollador nos permite tomar las medidas pertinentes para realizar un manejo en el riego, con el propósito de mejorar la uniformidad en el reparto de agua, entre las que se pueden citar: la adecuada selección del diámetro de la boquilla y la presión de trabajo del aspersor, disminuir la distancia entre posiciones del enrollador, utilización de aspersores de bajos ángulos, entre otras medidas que estén en correspondencia a las condiciones del campo que se vaya a regar, al respecto Tarjuelo (2005), plantea que los valores de los coeficientes de uniformidad se refieren en general a ensayos concretos correspondiente a riego efectuados bajo condiciones determinadas y no a lo que ocurre en el conjunto de riego realizados durante toda la campaña.

TABLA 2. Comportamiento de algunos parámetros de calidad del riego evaluados durante el estudio

Enrolladores	Diám. Boquilla (mm)	Vel. Pmom. Viento (m/s)	Lámina de agua Aplicada (mm)			Velocidad de desplazamiento Real (m/h)			Coeficiente de Uniformidad (%)		Calificación
			Borde Sup.	Borde Inf.	Difer. BS-BI	Borde Sup.	Borde Inf.	Diferen. BI-BS	BS	BI	
1	10	2,0	9,59	7,98	1,61	30,00	40,25	10,25	87,67	91,90	Muy Bueno
	14	2,4	27,16	17,15	10,01	16,33	30,46	14,13	78,96	81,91	Bueno
	14	1,3	25,49	21,34	4,15	13,8	18,23	4,43	89,79	86,83	Muy Bueno
2	18	1,6	21,63	18,73	2,9	34,2	40,4	6,2	77,93	89,09	Bueno
	22	2,9	16,93	15,73	1,2	43,69	46,63	2,94	75,14	76,41	Bueno
	22	3,3	11,34	10,20	1,14	31,25	37,93	6,68	90,52	83,71	Muy Bueno

Enrolladores	Diám. Boquilla (mm)	Vel. Pmóm. Viento (m/s)	Lámina de agua Aplicada (mm)			Velocidad de desplazamiento Real (m/h)			Coeficiente de Uniformidad (%)		Calificación
			Borde Sup.	Borde Inf.	Difer. BS-BI	Borde Sup.	Borde Inf.	Diferen. BI-BS	BS	BI	
3	25	0,5	29,09	13,90	15,19	27,15	37,85	10,7	72,50	66,39	Inaceptable
	25	1,6	31,35	20,61	10,74	30,45	42,9	12,45	61,71	68,62	Inaceptable
	30	0,3	36,44	24,94	11,5	34,00	43,5	9,5	65,40	66,15	Inaceptable
4	26	2,5	46,25	21,52	24,73	16,42	35,67	19,25	84,80	81,96	Bueno

En la Figura 1, se muestran los valores promedios de las láminas reales de agua aplicadas comparadas con las teóricas recomendadas por los fabricantes para las diferentes boquillas en los aspersores estudiados, y se puede deducir que difieren las cantidades de agua aplicadas y las cantidades de agua teóricas en la mayoría de las boquillas, en ocasiones el contenido de agua descargado es superior y en otras es inferior a las recomendadas por los consignatarios de los equipos, de las 10 boquillas ensayadas las que tuvieron un comportamiento similar en las dos variantes, fueron las boquillas con diámetros de 14 mm con una presión de 3,0 bar del enrollador BAUER / AUTORAIN ROBOT 50-90, las boquillas de 18 mm con una presión de 3,0 bar y la de 22 mm a una presión de 4,0 bar, ambas del enrollador IRRIMEC / SYNKRO con cuantías de agua de 23,56 y 24 mm, 19,95 y 20 mm, 10,91 y 10 mm respectivamente.

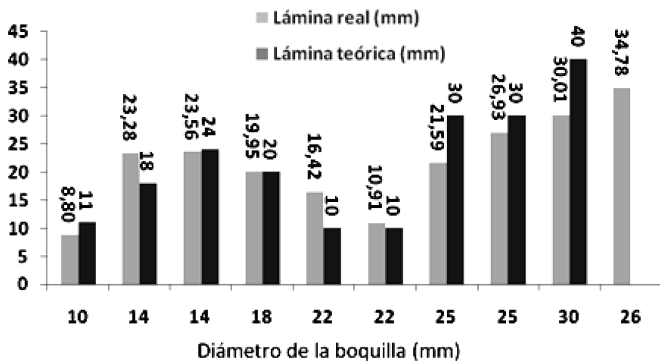


FIGURA 1. Comportamiento entre los valores promedios de las láminas aplicadas y las teóricas recomendadas por el fabricante.

Con respecto a los valores promedios reales calculados de la velocidad de avance y los recomendados por el fabricante en los enrolladores estudiados se muestran en la Figura 2, donde se aprecia que de las 10 evaluaciones realizadas 8 de ellas son superiores a los valores teóricos de los catálogos de los equipos. Las mayores diferencias fueron determinadas en el enrollador BAUER / AUTORAIN ROBOT 50-90 con la boquilla de 10 mm a una presión de 4 bar y la boquilla de 14 mm a una presión de 2 bar con valores calculados de 36,14 y 18,5 m/h y los recomendados por el fabricante fueron 22,37 y 14,8 m/h proporcionalmente, en este sentido pero aún más marcadas las diferencias fueron para el enrollador VALDUCCI/ KOMET-TWIN-160 en todas las evaluaciones con las siguientes relaciones 31,87 y 18,5 m/h, 36,80 y 19,2 m/h, 38,63 y 18,9 m/h. Las menores diferencias se determinaron en el BAUER / AUTORAIN ROBOT 50-90 con la boquilla de 14 mm de diámetro a una presión de 3 bar y el mejor comportamiento fue

para el IRRIMEC / SYNKRO en las tres boquillas evaluadas.

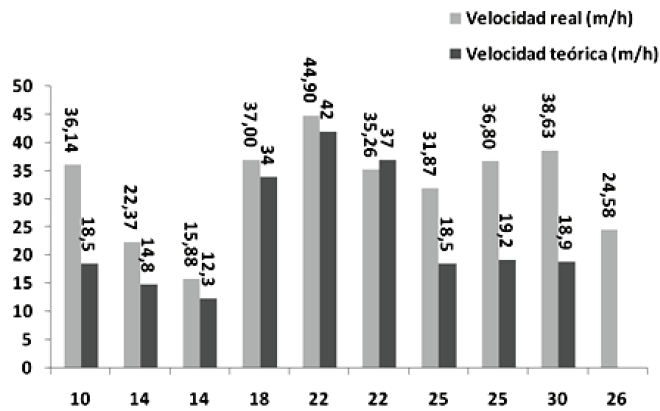


FIGURA 2. Comportamiento entre valores promedios de las velocidades calculadas y las teóricas recomendadas por el fabricante.

Es de particularizar que en el caso del enrollador FA-BREZ / RANGER, a pesar de determinar las láminas de agua aplicada y la velocidad de avance (Figuras 1 y 2), no fue posible comparar los valores obtenidos al respecto con los valores teóricos que suministra el fabricante, por la razón que estos equipos no llegan a los productores con los instructivos o manuales de explotación pertinentes, donde los interesados tienen que calcular estos parámetros del riego a partir de la manguera graduada, el tacómetro y los anillos de la barra perforada, siempre teniendo en cuenta que la lámina de agua aplicada dependerá de la velocidad de avance. Esta es una alternativa que puede ser muy útil para el manejo de la calidad del riego con los enrolladores en los diferentes escenarios productivos, pero existe el inconveniente que se necesita de un personal calificado que responda por la adecuada calibración de los equipos.

En general consideramos que los resultados obtenidos en la determinación de los parámetros evaluados en este trabajo, sobre la calidad del riego con los enrolladores, permitieron comprobar que en la mayoría de los casos no existe correspondencia entre la cantidad de agua real aplicada según las velocidades de desplazamiento y las recomendaciones facilitada por los fabricantes, por lo que sería pertinente realizar comprobaciones de los parámetros estudiados a los enrolladores, directamente en las condiciones de campo de cada entidad productiva, para corregir si existe alguna diferencia con la información que facilita el fabricante, con el propósito que el equipo quede correctamente calibrado y se logre un uso eficiente de estas máquinas de riego.

CONCLUSIONES

- En los enrolladores estudiados se evidencia que las láminas de agua aplicadas no se distribuyeron uniformemente en todo el campo y las velocidades de avance no mantuvieron un movimiento constante durante el recorrido de los aspersores.
- Al comparar las láminas de agua aplicadas según las velocidades de desplazamiento recomendadas por los fabricantes con los valores reales obtenidos en el campo se observó que no existe correspondencia, por lo que se ve afectada la calidad del riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; SELLER, J., & MARTIN, D.: *Center pivot design. The irrigation association*, [en línea] 2000, Disponible en: <http://www.irrigation.org> [Consulta: enero 18 2014].
- AL-MEFLEH N.K. y M.J. TADRO: "Influence of water quantity on the yield, water use efficiency, and plant water relation of *Leucaena leucocephala* in arid and semi-arid environment using drip irrigation system", *African Journal of Agricultural Research*, ISSN: 1991-637X, 5 (15): 1917-1924, 2010.
- CHRISTIANSEN J. E.: *Irrigation by sprinkling. California Agriculture* Experiment Station Bulletin No.670. University of California, USA. 1942.
- DELIRHASANNIA R, A.A. SADRADDINI, A.H. NAZEMI, D. FARSADIZADEH, E. PLAYA'N.: "Dynamic model for water application using centre pivot irrigation", *Biosystems Engineering*, ISSN: 1537-5110, 05: 476-485. 2010.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba.*, ed. L.L Barcaz, Ed. AGRINFOR, t. 1, ISBN-959-246-022-1, La Habana, Cuba, 1999.
- JABBARIAN B. y K. A NAKANE: "Modeling the Linkage Between River Water Quality and Landscape Metrics in the Chugoku District of Japan", *Water Resources Management*, ISSN: 0920-4741, 68: 1-17, 2009.
- MIODRAGOVĆ R.M; D.V. PATROVIĆ; Z.I. MILEUSNIĆ; A.Ž. DIMITRIJEVIĆ; R.L RADOJEVIĆ: "Water distribution uniformity of the traveling rain gun", *African Journal of Agricultural Research*, ISSN: 1991-637X, 7 (13): 1988-1996, 2012.
- MONTERO, L. E. JIMÉNEZ, R. CUN, M. DOMÍNGUEZ y P. DELGADO: "Influencia del riego con aspersor de largo alcance y diferentes boquillas sobre el rendimiento del plátano CEMSA ¾ en sistema de plátano extradenso", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN: 2227-8761, 2 (2): 42-45, 2012.
- NC 8224-1: 2011: *Máquinas de riego móviles-parte 1: Características del funcionamiento y métodos de ensayo de laboratorio y de campo*, Vig. 2012.
- SILVA L. & D.D. WILLIAMS: "Buffer Zone Versus Whole Catchment approaches to studying Land Use Impact on River Water Quality", *Water Resources*, ISSN: 0097-8078, 35 (14): 3462-3472, 2001.
- TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Ediciones Mundi Prensa, vol. 3a edición, ISBN: 84-8476-225-4, Madrid, Barcelona, México, 2005
- URIBE, H.C.; LAGOS, L.O.; HOLZAPHEL, E.: *Pivote Central, Comisión Nacional de Riego, Corporación de Fomento de la Producción. Chile*, [en línea] 2001, Disponible en: <http://www.cnr.gob.cl> [Consulta: enero 18 2014].

Recibido: 20/07/2014

Aprobado: 16/07/2015.

Publicado: 05/09/2015.

Lorenzo Montero San José, Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera Fontanar, km 2 ½ Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Tel. (53) (7) 645-1731; 645-1353, Correo electrónico: dptoriego5@iagric.cu

Esequiel R. Jiménez Espinosa, Correo electrónico: esequieljimenez79@gmail.com

Reinaldo Cun González, Correo electrónico: dptoriego3@iagric.cu

Manuel R. Rodríguez García, Correo electrónico: dptoriego2@iagric.cu