

AJUSTE DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE *Allium cepa* L. CON ENROLLADORES VIAJEROS¹

[IRRIGATION SETTING ON THE *Allium cepa* L. CROP WITH WINDER TRAVELERS]

Luperio Barroso Frómeta¹, Ernesto Castañeda Hidalgo^{3§}, Gerardo Rodríguez-Ortiz³, Leónides Peña Rivera², José Lescaille Acosta¹, Salvador Lozano Trejo³, Leudiyanes Ramos Hernández¹, Gisela M. Santiago Martínez³

¹Profesor Investigador, Facultad Agroforestal de Montaña, Universidad de Guantánamo, km 6½; Carr. El Salvador, municipio El Salvador; Guantánamo, Cuba. Tel: (0053 21) 29 43 23; 29 41 81. ²Profesor Investigador, Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, zona oriental, km 1 Carr. El Salvador, municipio El Salvador; Guantánamo, Cuba. Tel. 005354069490. ³Profesor Investigador, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C. P. 71230. Tel.: (951)51 70444, (951)5-17-04- 44, Ext. 22. [§]Autor para correspondencia: (casta_h50@hotmail.com)

RESUMEN

La sequía es un desastre natural con efectos negativos en la producción agrícola. Una alternativa para mitigar sus efectos es mediante el uso eficiente del agua a partir de la conservación de la humedad del suelo. El objetivo fue evaluar dos métodos de riego y ajustar las normas e intervalos de riego del enrollador viajero en el cultivo de cebolla para las características edafoclimáticas de la zona. El estudio se realizó en la Empresa Agropecuaria FAR El Yayal, Guantánamo, Cuba, entre el periodo 2012-2013, en un suelo pardo sialítico carbonatado, los cuales fueron sometidos a las labores de preparación según normas técnicas. Se utilizaron semillas de cebolla (*Allium cepa* var. Crono 2000) y se realizó el manejo técnico con base a la propuesta del MINAG. Se utilizaron dos niveles de humedad: aplicando las normas técnicas tradicionales en dos etapas (T1) y una variante técnica mediante enrolladores viajeros manejando un volumen de agua reducido en cuatro etapas (T2). La humedad generada en el suelo bajo T2 generó los mejores resultados en crecimiento, rendimiento e indicadores de eficiencia en el cultivo de cebolla.

Palabras clave: *cebolla, coeficiente de cultivo, estrés hídrico, métodos de riego, rendimiento.*

ABSTRACT

Drought is a natural disaster with negative effects on agricultural production. An alternative to mitigate their effects is through the efficient use of water from the soil moisture conservation. The objective was to evaluate two irrigation methods and adjust rules and intervals of irrigation of the winder traveller in the cultivation of onions for the edapho-climatic characteristics of the area. The study was conducted at FAR Agricultural Company, El Yayal, Guantánamo, Cuba; between the period 2012-2013, in a brown siallitic-carbonated soil, which was worked according to technical standards. Onion seeds (*Allium cepa* var. Crono 2000) were used and the technical management based on the MINAG proposal was performed. Two levels of moisture were used: applying traditional technical standards in two stages (T1) and a technical variant by winder travelers driving a small water volume in four stages (T2). The moisture generated in the soil under T2 generates the best results in growth, yield and efficiency indicators in the onion crop.

¹ Recibido: 28 de enero de 2015.
Aceptado: 01 de julio de 2015.

Index words: *Onion, crop coefficient, water stress, irrigation methods, yield.*

INTRODUCCIÓN

El mayor consumidor de agua dulce en el mundo es el sector agrícola, en el mismo se consume cerca del 70% del agua dulce disponible. Esta cifra crece al 95% en muchos países en desarrollo, donde se encuentran las tres cuartas partes de las tierras irrigadas del mundo (Periódico Granma, 2007; Colaizzi *et al.*, 2009). El manejo del agua, resulta un aspecto de interés por ser un recurso natural finito que requiere ser aprovechado con mayor eficiencia; lo que hace necesario estudiar el abastecimiento de agua de forma óptima para incrementar la producción agrícola (Barroso, 2004; Karam *et al.*, 2009).

El manejo del agua en los cultivos encierra un conjunto de procesos fundamentales; Broner (2005) plantea que el abastecimiento de este líquido a las plantas está sujeto a la técnica de riego empleada, las características edafoclimáticas y las necesidades de los cultivos. En este sentido Henggeler *et al.* (2011) y ARD (2011) señalan que la planificación del riego es un proceso esencial y debe tener en cuenta todos estos elementos, porque de ello depende la cantidad de agua a aplicar en los cultivos para obtener buenas cosechas, minimizando el consumo de este preciado líquido.

La escasa disponibilidad de los recursos hídricos, unido a los altos costos del riego, obliga a adoptar cambios en el manejo de este (ARD, 2013). Para contribuir a producciones rentables, con dotaciones hídricas inferiores a la que los cultivos requieren para su óptimo crecimiento y rendimientos, es fundamental conocer los efectos del déficit hídrico sobre la producción y la calidad de las cosechas a través del manejo en el riego, teniendo en cuenta la evapotranspiración de cultivo, y así establecer lo que se conoce como riego deficitario controlado que surge con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico (Jones, 2004; Duarte-Díaz *et al.*, 2012).

La FAO (2006) reconoce que la agricultura es el principal consumidor de agua del planeta y corresponde al sector agrícola tomar el liderazgo en la búsqueda de soluciones a la creciente demanda global del líquido. Unas de las alternativas propuestas por el sector se centra en el aprovechamiento óptimo del recurso para aumentar las áreas irrigadas a partir de la introducción de tecnologías de punta y la innovación tecnológica de sistemas de riego como son el pivote central, goteo aéreo y soterrados, gravedad eficiente, maquinas enrolladoras, entre otros.

Para que estos sistemas cumplan su objetivo es necesario que estos sean operados de forma eficiente a partir de las características propias de la zona, como clima, tipo de suelo y propiedades hidrofísicas y las características de los cultivos beneficiados con el riego; teniendo en cuenta los principios de mayores producciones y menor gasto (Ortuño *et al.*, 2009). La producción de hortalizas, especialmente el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) es uno de los objetivos de interés de la agricultura en Cuba, por lo que es importante considerar la posibilidad de obtener volúmenes de producción que satisfagan las necesidades de la población sin utilizar grandes cantidades de agua.

En el caso de la provincia de Guantánamo, de manera importante la empresa agropecuaria FAR El Yayal, ha reportado problemas con el gasto excesivo de agua debido al manejo ineficiente de la nueva tecnología de riego implementada (enrolladores viajeros) que ahí opera; y que aunque se sigue el instructivo recomendado no se toman en cuenta las características

edafoclimáticas de la zona. Bajo este contexto, el objetivo fue evaluar dos métodos de riego y ajustar las normas e intervalos de riego del enrollador viajero en función al cultivo de cebolla para las características edafoclimáticas de la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y condiciones climáticas

El área de estudio se encuentra localizada en la provincia de Guantánamo, municipio Manuel Tames, Cuba en la Empresa Agropecuaria FAR El Yayal; esta fue escogida por contar con un sistema de riego de alta tecnología denominado enrolladores viajeros bajo la modalidad de soterrado; sistema que tiene la bondad de operar la norma exacta que el regador desee teniendo en cuenta la relación boquilla y presión a utilizar.

El estudio se realizó durante el período del 23 de diciembre de 2012 al 20 de abril de 2013 en el cultivo de cebolla var. Crono 2000; sembrada en hileras de 15 cm y a una distancia entre plantas de 10 cm y bajo las normas de manejo indicadas en el instructivo técnico propuesto por del MINAG (2004 y 2007). La prueba se realizó en suelos pardos sialíticos carbonatados, los cuales ocupan la totalidad de la unidad. (Hernández *et al.*, 1999). Los suelos sialíticos son suelos tropicales y subtropicales con alta erosión y caracterizados por el proceso de sialitización, lo que hace posean grandes cantidades de arcillas y en donde prevalece en su parte mineral el SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, Ca₂CO₃ y Mg CO₃ (Olivera, 2012).

El manejo y la conservación de la fertilidad del suelo en climas tropicales es crítico para un ambiente sostenible, lo que hace necesaria una selección apropiada de indicadores de calidad del suelo, como el contenido de materia orgánica, la acidez y eficiencia del uso del nitrógeno para una mayor respuesta al cambio, mejor producción de biomasa, clara discriminación entre los sistemas de manejo y restauración ambiental para un reflejo en la variabilidad de terrenos durante las estaciones (Bugarín *et al.*, 2010). Para determinar las normas de riego a utilizar se empleó la información de las propiedades hidrofísicas del suelo y a partir de ellas, ajustar el riego. Algunas características importantes se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Propiedades hidrofísicas del suelo del Municipio Manuel Tames, Provincia de Guantánamo, Cuba.

Tipo de suelo	Profundidad (cm)	Densidad aparente (Da) (g cm ⁻³)	Capacidad de campo (CC) (% pss)	Velocidad de infiltración (Vi) (mm h ⁻¹)
Pardos	0 – 20	1.2	38.4	
Sialíticos	20 – 40	1.25	34.4	
carbonatados	40 – 60	1.32	33.6	24.4
cálcicos	60 – 80	1.32	27.2	

El análisis químico del suelo se realizó en la Estación de Suelos Salinos de Guantánamo y para ello se tomaron n = 20 muestras de manera aleatoria definidas previamente en un mapa de suelos escala 1:25,000 de la Dirección Nacional de Suelos a una profundidad de 0.25 cm para el

análisis de la fertilidad según lo indica Hernández *et al.* (1999). De acuerdo con la clasificación de Martín (2011) este suelo tiene un contenido de materia orgánica medio (4.3%), según método de Walkley y Black, el pH (H₂O) determinado por potenciometría es ligeramente ácido (6.5) y los contenidos de P₂O₅ y el K₂O según Machiguin fueron altos (75 y 66 mg·kg⁻¹, respectivamente).

Las variables climáticas fueron tomadas de la estación agrometeorológica La Juanita, Provincia de Guantánamo. Se muestran los valores medios de esta localidad con datos de diciembre de 2012 a abril de 2013; fecha que comprende el periodo de evaluación. Las variables evaluadas muestran la tipicidad del régimen pluviométrico en esta zona (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variables climáticas presentadas durante el desarrollo del experimento.

Variables climáticas	Meses en el periodo experimental				
	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Temp. Media (°C)	24.1	23.5	23.7	24.4	25.3
Temp. Máxima (°C)	30.5	30.5	30.8	31.2	31.8
Temp. Mínima (°C)	18.9	18.0	18.0	18.9	19.9
Precipitación (mm)	12.3	15.6	17.2	21.4	32.6
Humedad relativa (%)	78.6	76.1	73.4	72.9	73.7

Fuente: CITMA. Estación Meteorológica Guantánamo, ubicada a 15 msnm, 20° 8' LN y 75° 14' LO.

Cálculo de las variables requeridas para la norma de riego óptimo

Para determinar la norma y frecuencia de riego se utilizó *CROPWAT*®, programa informático desarrollado por la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas de la FAO y propuesto por Smith (1993). El procedimiento para el cálculo de las necesidades de agua del cultivo y la frecuencia de riego se determinó a partir del cálculo de las propiedades hidrofísicas del suelo y del cálculo de los principales elementos del régimen de riego. La evapotranspiración (Eto) de referencia fue calculada al utilizar el método de *Penman-Monteith* del programa *CROPWAT*®, donde se selecciona en el menú principal del programa la opción para el cálculo de la Eto.

Los valores mensuales de los elementos climáticos: temperatura media del aire, humedad relativa, velocidad del viento y brillo solar, introducidos como base de datos del *CROPWAT*. ® Se considera el coeficiente de cultivo (Kc) y se toma en cuenta las fases de desarrollo del mismo: proceso de germinación, crecimiento acelerado y crecimiento lento (Vázquez y Torres, 2006).

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue completamente aleatorizado y para la toma de datos se empleó un muestreo aleatorio estratificado que de acuerdo a Di Rienzo *et al.* (2005), es aquel en el que se divide la población de N individuos, en subpoblaciones o estratos, atendiendo a criterios que puedan ser importantes en el estudio. Como condiciones de homogeneidad se consideraron la topografía (llana), el cultivo y la condición impuesta en cada tratamiento.

En el trabajo se conformaron dos tratamientos. El primero (normas técnicas) ocupó el área

comprendida entre los hidrantes uno a cuatro; y el segundo (normas reducidas) del hidrante seis al nueve (Figura 1). Cada tratamiento ocupó cuatro hidrantes. La separación entre hidrantes fue de 53 m y una longitud de 300 m, por lo que cada tratamiento contó con una superficie de 6.36 ha. En el primer tratamiento (T1) se aplicó la norma e intervalos de riego de acuerdo a la metodología del MINAG (2004 y 2007) y las sugerencias de los productores, los cuales tienen experiencia en el manejo del agua.

Esta comprende en la aplicación de dos normas e intervalo de riego en dos etapas de desarrollo del cultivo, la primera norma se aplica en los primeros 60 días y la segunda en el resto del ciclo del cultivo; para lo cual se calibró la maquina enrolladora (Figura 2). En el caso del tratamiento introducido por la investigación (T2) se manejó en cuatro etapas, cada una de 30 días, donde se aplicaron normas bajas e intervalos cortos.

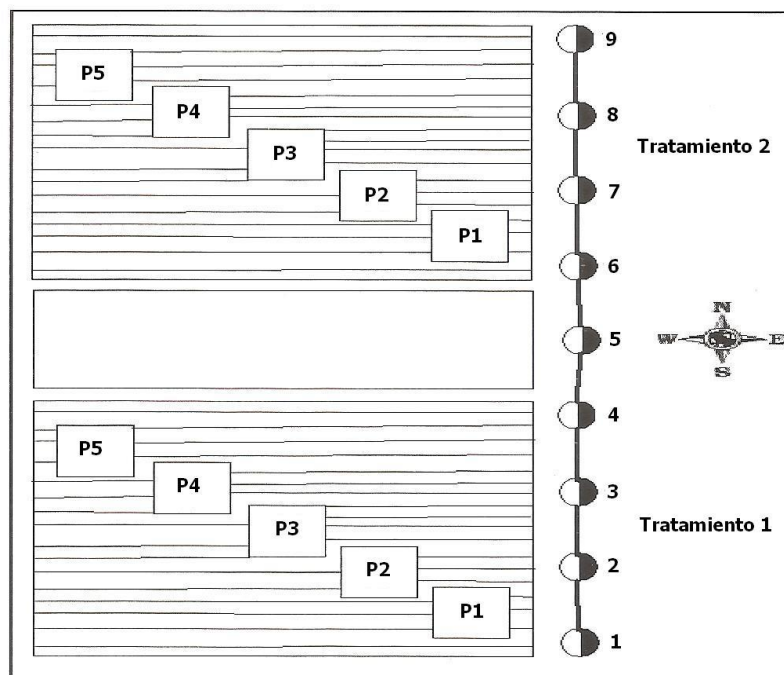


Figura 1. Croquis del área experimental. P: parcela de muestreo o estrato.

Evaluaciones realizadas y análisis de datos

Para la medición de las diferentes variables y sus evaluaciones fueron seleccionadas al azar 10 plantas por cada parcela de muestreo, y en total fueron cinco. Las mediciones al cultivo fueron al final del ciclo. Se evaluaron las siguientes variables de rendimiento: Altura de planta (cm), se midió a partir de la base del tallo hasta la hoja de mayor longitud con una regla graduada de un mm de aproximación. Número de hojas, se contaron las hojas de las plantas con excepción de la hoja apical. Longitud de raíz (cm), se midió con una cinta métrica del cuello de la raíz hasta la punta de la raíz más larga. Número de raíces (U), se contó el total de raíces de las plantas seleccionadas por cada tratamiento. Diámetro del bulbo (cm), se midió el diámetro ecuatorial de bulbo mediante el uso de un vernier marca *Kamasa* Modelo

Premium 0-150 x 0.5 mm. Masa del bulbo (g), peso de los bulbos mediante una balanza analítica Marca *Ohaus*, modelo *Adventurer Pro*.



Figura 2. Máquina enrolladora (con enrolladores viajeros).

Rendimiento (kg m^{-2}), para evaluar esta variable se muestrearon superficies al azar de $1 \text{ m}^2/\text{tratamiento}$, se pesó en una báscula. Humedad del suelo por tratamiento, este indicador se evaluó cada siete días a través de muestreos del suelo (método gravimétrico) por tratamiento. Peso húmedo y peso seco (kg) en los primeros 20 cm de suelo, para ello se utilizó la barrena para la toma de muestra y la estufa para el secado.

Se empleó la estadística descriptiva para determinar la media, la desviación estándar y el error estándar de la media y para las diferencias entre las medias de los dos tratamientos se empleó la distribución t-Student ($\alpha = 0.05$). Se utilizó el paquete estadístico STATISTICA versión 6.1®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio de humedad del suelo durante el período de la investigación muestra diferencias significativas entre los tratamientos estudiados (Figura 3). En el caso del tratamiento en donde se aplicó la norma de producción en dos etapas (T1), los valores promedio de humedad del suelo se mantuvieron en torno al 70%, mientras que en el caso del T2, que se corresponde al régimen de riego impuesto en la investigación y que se aplicó en cuatro etapas, se mantuvo cercano al 65%. Es importante señalar que para el caso del T1 la humedad del suelo se mantuvo por encima de los valores óptimos para este cultivo y se refleja en las propiedades hidrofísicas mostradas en el Cuadro 1, donde la capacidad de campo y la velocidad de infiltración del suelo son inferiores a los volúmenes de agua aplicados. Aspecto que conducen a un sistemático exceso de humedad y por consiguiente, a una disminución del crecimiento y rendimiento del cultivo. Además de la aparición de enfermedades fungosas como *Alternaria porri*.

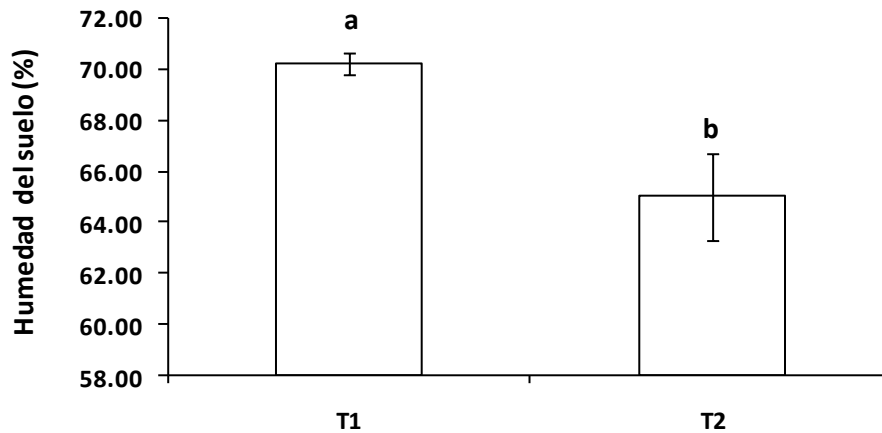


Figura 3. Promedio de la humedad del suelo en porcentaje durante el periodo de la investigación. + T1= Tratamiento 1. Norma de producción con riego en dos etapas. T2=Tratamiento 2. Norma de producción con riego en cuatro etapas. Letras distintas en columnas indican diferencias estadísticas significativas (t-Student, 0.05). La línea vertical sobre las columnas indica la desviación estándar.

Este resultado corresponde a los indicadores de eficiencia (Cuadro 3), y presentan algunos de los parámetros del régimen de riego evaluado en el cultivo de cebolla regada con enrolladores viajeros. Observándose que tanto la norma para la humedad neta y bruta fueron mayores en el T1, mientras que en el T2, cuando se aplicó el riego en cuatro etapas; se obtuvo un ahorro de 53.3 m³ ha⁻¹.

Así mismo, el intervalo de riego promedio fue de 6.5 días en el T1 (norma de producción) y de 4 días en el T2 (normas reducidas), lo que indica una mayor efectividad cuando se aplican normas e intervalos cortos. Juan *et al.* (2013), plantean la búsqueda de fuentes de agua alternativas, debido a una sobre-explotación de los acuíferos y recomiendan la obtención de las precipitaciones, mientras que en esta experiencia se demuestra que con la correcta aplicación del riego es posible garantizar la demanda de los cultivos sin llegar a la sobre-explotación de la fuente.

En los indicadores de eficiencias del sistema de alta carga con enrolladores viajeros, se denota como la variante introducida en la investigación (T2) muestra los mejores resultados. Aunque el número de riego es superior; nueve más, que en el caso de las normas de producción tradicionales, el resto de los indicadores es superior (Cuadro 4).

Este resultado está sustentado sobre la base de la realización de suministros cortos e intervalos de riegos también cortos, lo que produce un incremento en el número de riego, pero una disminución en el volumen de agua aplicado, tiempo de trabajo y energía consumida (Burt, 2010).

Cuadro 3. Régimen de riego del cultivo de la cebolla obtenido a partir de la aplicación de dos normas diferentes.

Manejo del riego norma técnica en dos etapas (T1)					
Norma neta (m ³ ha ⁻¹)	Norma bruta (m ³ ha ⁻¹)	Intervalo de riego (días)	Velo de enrolladores (m h ⁻¹)	Tiempo de riego (h)	Intensidad media del aspersor (mm h ⁻¹)
110.59	130.11	5	66.12	4.54	7.70
Primera etapa					
184.32	216.85	8	39.67	7.56	7.70
Segunda etapa					
Manejo del riego con normas reducidas en cuatro etapas (T2)					
46.08	54.21	2	158.70	1.89	7.70
Primera etapa					
73.73	86.74	3	99.19	3.02	7.70
Segunda etapa					
101.38	119.27	5	72.14	4.16	7.70
Tercera etapa					
129.02	151.79	6	56.68	5.29	7.70
Cuarta etapa					

Cuadro 4. Indicadores de eficiencia del sistema de riego de alta carga enrolladores ligeros.

Indicadores de eficiencia	T1 ⁺	T 2	Diferencia entre tratamientos	Porcentaje
Cantidad de riego aplicado (mm)	16	25	9	56.25
Consumo de agua (m ³)	2 211.92	1 981.22	230.7	10.43
Tiempo de trabajo (h)	120.96	81.24	39.72	32.84
Electricidad consumida (Kw)	2 782.08	1 868.52	913.56	32.84

⁺ T1= Tratamiento 1. Norma de producción con riego en dos etapas. T2=Tratamiento 2. Norma de producción con riego en cuatro etapas.

Precisamente la reconocida agencia Alberta, dedicada a la producción de tecnologías y estudios sobre el manejo eficiente del agua, incluye como elemento de explotación importante de las diferentes tecnologías de riego que produce, la aplicación de agua a intervalos cortos y normas de riego reducidas, siempre en estrecha relación con la etapa de desarrollo del cultivo (ARD, 2013).

Es meritorio señalar que esta variante de riego ajustado (T2) para este tipo de hortaliza garantiza un uso racional del recurso agua al mismo tiempo que se protege el recurso suelo al evitar los sobre humedecimientos y se protege la obtención de una mejoría en el crecimiento y rendimiento del cultivo, variables que se analizan posteriormente.

Según Casanova (2007) las exigencias hídricas de los cultivos se pueden establecer de acuerdo a una programación del riego que propicie mayores beneficios técnicos y económicos, para ello se requiere conocer las necesidades hídricas diarias de las plantas, el suelo, los factores climáticos y requerimientos por fase de desarrollo del cultivo. Estos propios autores plantean que el agua se aplica para satisfacer las demandas diarias del cultivo y no para crear una reserva en el suelo, de manera que se eliminen las situaciones extremas de exceso y falta de agua, situaciones comunes en el riego tradicional.

Un aspecto que se debe tener en cuenta al evaluar las necesidades hídricas del cultivo durante los meses del año, se relaciona con las pérdidas por evaporación, éstas fueron superiores a las precipitaciones ocurridas (Cuadro 3), lo que provocó una alta demanda atmosférica debido a que la evaporación superó los ingresos hechos por las precipitaciones, comportamiento característico del período poco lluvioso de Cuba, y en especial de la zona donde se desarrolló el experimento, aspecto que ha sido señalado por Barroso (2004). En este sentido, López-Marín *et al.* (2012) plantearon que las características climáticas de la región tienen una influencia directa en la conducta del agua y estimaron pérdidas por evaporación del orden de los 58.5 Hm³ que representa más del 15% del agua destinada al consumo urbano en la zona de estudio.

El comportamiento observado en cuanto al consumo de agua por tratamiento, afectado por los niveles de humedad presentes en el suelo, corrobora respecto al transporte del agua en condiciones de exceso o poca humedad en el suelo, esto provoca una disminución en la conductividad hidráulica del tallo (Pérez-Pastor *et al.*, 2009), se afecta la absorción de agua y en esas condiciones también se ha encontrado que se rompe la columna de agua de la corriente transpiratoria al estar sometida a fuertes tensiones (Steudle, 2001), lo que limita en gran medida, que ocurra un adecuado crecimiento del vegetal (Rodríguez, 2009).

El crecimiento constituye un aumento irreversible del tamaño del vegetal asociado generalmente a un incremento de la materia seca (Barroso, 2004, Taiz y Zeiger, 2008), y denota los cambios cuantitativos que tienen lugar durante el desarrollo. Al analizar las variables del crecimiento de las plantas en el momento en que se realizó la cosecha (Cuadro 4), se alcanzaron magnitudes superiores en el tratamiento en el que se aplicó la variante propuesta en la investigación (T2), con diferencia significativa con el tratamiento T1. El T2 mostró un crecimiento superior al tratamiento T1 con una diferencia promedio de 7.08 cm, valor que representa el 26.6% de incremento. Los resultados al parecer estuvieron condicionados por la aplicación de un volumen menor de agua y un buen aprovechamiento de la humedad del suelo en el caso del tratamiento donde las plantas estuvieron sometidas a la variante propuesta.

Lo anterior puede deberse a que cuando se utiliza la norma de riego introducida en la investigación T2, el suelo permanece más suelto al no soportar sobre humedecimiento y por lo tanto, el sistema radical se desarrolla más profundamente, en respuesta a ello, la planta tiene un desarrollo en altura mayor buscando un equilibrio raíz/tallo en el crecimiento de la planta. Esto ha sido referido por Barroso *et al.* (2010) en estudios realizados en este mismo cultivo de cebolla o probablemente la incorporación de la nueva norma de riego, al ser más eficiente provocará un incremento en los minerales del suelo y entre ellos el nitrógeno, el cual juega un papel fundamental como precursor del crecimiento, a través de una mayor expansión foliar, a causa de un mayor número y tamaño de las células.

Cuadro 4. Evaluación de variables del crecimiento al final del ciclo biológico en plantas de cebolla que fueron tratadas con dos normas de riego diferente.

Tratamientos	Altura (cm)	No. de hojas	Longitud de las raíces (cm)	No. de raíces
T1	26.60 b	4.76 b	6.29 b	25.50 b
T2	33.68 a	5.16 a	5.30 a	40.35 a
EEx	1.34	0.15	0.19	1.60

T1= Tratamiento 1. Norma de producción con riego en dos etapas. T2=Tratamiento 2. Norma de producción con riego en cuatro etapas. Medias seguidas de letras diferentes, difieren significativamente para $p \leq 0.05$ (t-Student). EEx: Error estándar de la media.

El aumento en la altura de las plantas en T2 se debe a la respuesta fisiológica de la cebolla, cuando crece en un medio donde existe un suministro hídrico óptimo. Por ejemplo, el nitrógeno en las plantas participa en todas las moléculas de proteínas y forma parte de los elementos que intervienen en la fotosíntesis y la respiración; por lo tanto, mejora el metabolismo de la planta y su crecimiento, dándole oportunidad a la misma de expresar su potencial para crecer. En este sentido, existe una correlación significativa entre el contenido hídrico del suelo y la eficiencia en el uso del nitrógeno. López-López (1999) establece que las mediciones del estrés hídrico de los cultivos combinado con sistemas eficientes de riego permiten maximizar el rendimiento a través de un manejo eficiente del riego. De acuerdo a Speek *et al.* (2007), un nivel eficiente de agua garantiza una planta sin estrés fisiológico, lo que incrementa la tasa de crecimiento debido a un incremento en la altura. Aspecto también asociado a la disponibilidad del fósforo en el suelo.

El crecimiento en número de hojas mostró una tendencia a la superioridad en las plantas del T2, resultados que corresponden con lo obtenido en la variable altura. Esta variante mostró una tendencia en el crecimiento en número de hojas superior a T1 con diferencias de 0.4, valor que representa el 8.4% de incremento.

Es meritorio señalar que cuando las plantas estuvieron en presencia de la norma de riego aplicada según norma técnica (T1) se obtuvieron los resultados menos significativos, aspecto que influyó por un exceso de humedad en el suelo debido a la frecuencia amplia del abastecimiento hídrico y volúmenes elevados, aun cuando las plantas que estuvieron sometidas a ese tratamiento contaron con un número de riego menor, tal y como se discutió anteriormente en el Cuadro 4.

El aumento en el número de hojas en el T2, es producto de la respuesta fisiológica y lógica del cultivo, cuando crece en un medio donde existe mayor suministro de elementos nutritivos, de manera que las plantas que crecieron bajo la influencia de este tratamiento contaron con un suministro hídrico cercano al óptimo que garantizó mejor eficiencia en el crecimiento de hojas. Pérez (2011) indica que el clima debe estar entre los factores a tener en cuenta para el establecimiento de la fertilización de los cultivos y dentro de ella, el contenido de humedad en el suelo derivado de las precipitaciones, por tanto, un nivel eficiente de agua garantiza una planta sin estrés fisiológico, que incrementa la tasa de crecimiento debido a un incremento en el número de hojas. Aspecto también asociado a la disponibilidad del nitrógeno y del fósforo en el suelo.

Por su parte Barroso *et al.* (2010) sustentan que con un buen abastecimiento hídrico se logra que las plantas tengan un crecimiento adecuado debido a que el primer efecto medible de un

estrés de humedad, ya sea por sequía o por exceso es una reducción del crecimiento. En tal sentido (Barroso, 2004) encontró en el cultivo de albahaca blanca reducciones en estas variables de hasta un 30% cuando se redujo el nivel de humedad en el suelo, aspecto que se corrobora con lo obtenido en este experimento, aun cuando el efecto posible en este caso es por el exceso. Desde el punto de vista agronómico, lo más importante del coeficiente de estrés hídrico, es el manejo que permite realizar en la gestión del riego, su efecto sobre la producción y en su repercusión más en la producción obtenida en la parte aérea que en la zona subterránea (De Santa Olalla y Valero, 1993).

La variable longitud de la raíz al igual que las anteriores evaluadas provocó diferencias significativas en la evaluación realizada. El mejor resultado se alcanzó en el tratamiento T2, norma de riego que contó con un volumen de agua menor y un mayor número de riego. Hasta el momento de la cosecha, el peor comportamiento se observó en el T1, plantas tratadas según instrucciones técnicas de la norma de riego y que se mantuvieron con niveles de humedad altos debido al propio tratamiento, lo que indica que en las condiciones estudiadas la norma de riego seguida por el tratamiento T1 no garantiza un óptimo de humedad en el suelo.

De igual forma que en el caso de la longitud de la raíz, en la variable número de raíces hubo diferencias entre tratamientos y el valor más elevado correspondió al T2. Esta variable mostró una tendencia en el crecimiento en número de raíces superior al tratamiento T1 con una diferencia promedio de 14.85, valor que representa el 36.80% de incremento. Al parecer las plantas que estuvieron sometidas al régimen de humedad impuesto por el tratamiento T2 garantizaron una humedad en el suelo en torno al necesario para crecer y desarrollar las raíces en función de absorber mayor y con mejor calidad los nutrientes del suelo. Es necesario plantear que la norma de riego impuesta por el T2, aun cuando se aplican nueve riegos más que las normas técnicas, estos riegos fueron de volúmenes más pequeños e intervalos más cortos, aspectos que garantiza que el suelo no tenga momento con exceso de humedad.

De acuerdo con los resultados expuestos hasta aquí, se confirma que el T2 fue suficiente para garantizar en las plantas un adecuado balance del carbono, con su consiguiente repercusión en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El desarrollo comprende dos procesos básicos: crecimiento y diferenciación; donde la diferenciación se refiere a los cambios cualitativos. Las variables del rendimiento de plantas de cebollas que fueron regadas con dos normas diferentes (Cuadro 5), los mejores resultados se registraron cuando las plantas fueron regadas con el volumen de agua reducido (T2), con diferencias significativas con el tratamiento T1 (norma de producción).

El T1 mostró el resultado más bajo en la variable diámetro del bulbo, al igual que otras ya evaluadas, con valores promedios de 2.46 (cm) menos que cuando fueron regadas bajo el T2, valor que significa un 48% de reducción.

En cuanto a la masa fresca del bulbo, los mejores resultados fueron encontrados en el T2 con diferencia estadísticamente significativa con respecto a T1. El T2 manifestó un mejor comportamiento con valores superiores al T1 en 87.98 gr, lo que representa 106.29% de incremento en esta variable. Es indudable que tanto el diámetro del bulbo como la masa contribuyeron de manera importante en el rendimiento.

Cuadro 5. Variables del rendimiento evaluadas al final del ciclo biológico en plantas de cebolla tratadas con dos diferentes normas de riego.

Tratamientos	Diámetro del bulbo (cm)	Masa del bulbo (g)	Rendimiento (kg m ⁻²)
T1	5.12 b	82.77 b	2.3 b
T2	7.58 a	170.75 a	3.4 a
EEx	0.28	3.10	0.14

T1= Tratamiento 1. Norma de producción con riego en dos etapas. T2=Tratamiento 2. Norma de producción con riego en cuatro etapas. Medias seguidas de letras diferentes, difieren significativamente para $p \leq 0.05$ (t-Student). EEx: Error estándar de la media.

En el caso de T2, al parecer mejora las condiciones edáficas del área y las plantas pueden realizar un mejor aprovechamiento nutricional (Cuadro 5) e hídrico, dada las condiciones de aproximación al óptimo que se crea por el propio tratamiento. El rendimiento en kg m⁻² mostró los mejores resultados con el T2, con diferencias estadísticas respecto a T1.

De acuerdo con los resultados expuestos, se puede inferir que el T2 fue suficiente para garantizar en las plantas un adecuado balance del carbono, con su consiguiente repercusión en el rendimiento de las plantas, ya que mostró un rendimiento de 3.4 kg m⁻², lo que representa un 47.8% superior a T1. Este incremento significa obtener 1.1 kg más por cada m².

Un aspecto que pudo influir directamente en la obtención de estos resultados fueron las variables climáticas (Cuadro 2). En el caso de las temperaturas medias se mantuvieron valores entre 23.5 y 25.3 °C durante todo el periodo de la investigación, temperaturas óptimas para el desarrollo de este cultivo (MINAG, 2004).

De forma general los resultados expuestos, corroboran lo encontrado por Mengana (2011) quien estudiando niveles de humedad reducida hasta el 50% encontró que este fue suficiente para garantizar en las plantas un adecuado balance del carbono, repercutiendo en el rendimiento de las plantas (2.3 y 3.4 kg m⁻²), con un 7% superior al tratamiento control. Así mismo, Mengana *et al.* (2013) en este mismo cultivo de cebolla obtuvieron rendimientos superiores cuando redujo la humedad del suelo a costa de los tratamientos impuesto, aunque en tres condiciones diferentes y con empleo de alternativas biológicas.

CONCLUSIONES

Mediante el uso de los enrolladores viajeros (T2) fue posible generar el régimen de riego óptimo para el cultivo de la cebolla bajo las condiciones estudiadas. Aunque el número de riegos se incrementó en nueve respecto a la forma tradicional de riego en dos etapas (T1), el uso de mano de obra, consumo de agua, trabajo y energía son más eficientes en porcentajes de 56.25, 10.43, 32.84 y 32.84, respectivamente. Respecto a las variables productivas, el tratamiento de riego bajo la variante técnica de enrolladores viajeros manejando un volumen de agua reducido en cuatro etapas (T2) mostró mejor altura (26.6%), número de hojas (8.4%), número de raíces (36.8%), diámetro de bulbo (48%) y masa de bulbo (106.29) respecto a T1; lo cual se reflejó en un mayor rendimiento (47.8%).

LITERATURA CITADA

- Alberta Agriculture and Rural Development (ARD). 2011. Irrigation scheduling fact sheets. 48 p. <http://www.agric.gov.ab.ca/app21/infopage?cat1=Soil%2FWater%2FAir&cat2=Irrigation.pdf> (Consultado 04 de agosto 2015).
- Alberta Agriculture and Rural Development (ARD). 2013. Alberta Irrigation Management Manual. Irrigation Management Branch Irrigation and Farm Water Division. 56 p. [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/irr14310/\\$file/altairrigmanagmanual.pdf?OpenElement](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/irr14310/$file/altairrigmanagmanual.pdf?OpenElement) (Consultado 04 de agosto 2015).
- Barroso, L. 2004. Crecimiento, desarrollo y relaciones hídricas de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) en función del abastecimiento hídrico. Tesis de Grado del INCA. 112 p.
- Barroso, L., M. Riera, A. Montoya, J. Broock y T. Boicet. 2010. Manejo del riego combinado con micorriza y materia orgánica en el cultivo de la cebolla. *Rev. Hombre, Ciencias y Tecnología* 56(4):1-9.
- Broner, I. 2005. Irrigation: Irrigation scheduling. Fact Sheet No. 4.708. Colorado State University Extension–USDA. 2 p. <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/pdf> (Consultado 04 de julio 2008).
- Bugarín, J., I. Bojórquez, C. Lemus; M C. R. M. Murray; H. Ontiveros; J. Aguirre y C. A. Hernández. 2010. Comportamiento de algunas propiedades físico-químicas del suelo con diferentes sistemas silvopastoriles en la llanura norte de Nayarit. *Cultivos Tropicales* 31:48-55.
- Burt, C. M. 2010. Ag-irrigation management: Training manual for certified agricultural irrigation specialist (CAIS) program. ITRC, California Polytechnic State University. San Luis Obispo, CA. 58 p.
- Casanova, A. S. 2007. Manual para la producción protegida de hortaliza. Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova. La Habana, Cuba, 137 p.
- Colaizzi, P. D, P. H. Gowda, T. H. Marek and D. O. Porter. 2009. Irrigation in the Texas High Plains: A brief history and potential reduction in demand. *Irrigation and Drainage*. 58:257-274.
- De Santa-Olalla, F. M. y J. A. Valero. 1993. *Agronomía del riego*. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, España. pp. 503- 505.
- Di Rienzo, A.; F. Casanoves, A. González, M. Tablada, M. Díaz, W. Robledo, y G. Balzarini. 2005. *Estadística para las ciencias agropecuarias*. Sexta Edición. Córdoba Argentina. 345 p.
- Duarte-Díaz, C. E., I. Zamora-Herrera, y M. León-Fundora. 2012. Efecto del coeficiente de estrés hídrico sobre los rendimientos del cultivo de cebolla. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 21:42-47.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2006. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy.
- Henggeler, J. C., M. D. Dukes and B. Q. Mecham. 2011. Irrigation scheduling. Stetson, L. E. and Mecham, B. Q. (Eds.). *Irrigation* (6th ed.). Irrigation Association. Falls Church, VA. pp. 491-564.
- Hernández, A., J. Pérez, A. Bosch y L. D. Rivero. 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Editorial AGRINFOR. La Habana, Cuba. 64 p.
- Jones, H. G. 2004. Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany* 55(407): 2427-2436.

- Juan, M., J. Casos, S. Bonachela, F. Fuentes-Rodríguez, I. Gallego y M. A. Elorrieta. 2013. Características y manejo de las bolsas de riego del litoral mediterráneo andaluz. *Rev. Agricultura Vegetal, Fruticultura-Horticultura* 364:120-122.
- Karam, F.; R. Masaad, R. Bachour, C. Rhayem and Y. Roupael. 2009. Water and radiation use efficiencies in drip-irrigated pepper (*Capsicum annuum* L.): Response to Full and Deficit Irrigation Regimes. *Europ.J.Hort.Sci.* 74 (2):79–85.
- López-López, R.; R. Arteaga-Ramírez; M. A. Vázquez-Peña; I. López-Cruz e I. Sánchez-Cohen. 2009. Índice de estrés hídrico como indicador del momento de riego en cultivos agrícolas. *Agricultura Técnica en México* 35:92-106.
- López-Marín, J., A. Gálvez, J. García, M. F. Espinosa, J. L. Lozano y A. González. 2012. Limitación potencial de los caudales de riego aplicados con la utilización de acolchados biodegradables. *Rev. Agricultura Vegetal, Fruticultura-Horticultura* 359: 296-300.
- Martín, A. 2011. Tabla de interpretación de análisis de suelo. Folleto: Departamento de Riego y Drenaje. UNAH. Mayabeque. 7 p.
- Mengana, A. 2011. Manejo del suministro hídrico en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*) con empleo de alternativas biológicas en ecosistemas frágiles. Tesis de Maestría en Agricultura Sostenible. Universidad de Guantánamo. Guantánamo, Cuba. 63 p.
- Mengana, A., L. Barroso y C. A. Sánchez. 2013. Influencia de la materia orgánica de aserrín y la micorriza con dos normas de riego en el comportamiento morfofisiológico en el cultivo de la cebolla. *Revista Hombre, Ciencia y Tecnología* 65 (1):1-10.
- Ministerio de la Agricultura (MINAG). 2004. Instructivo técnico del cultivo de la cebolla. La Habana, Cuba. pp. 60–65.
- Ministerio de la Agricultura (MINAG). 2007. Instructivo técnico MINAG. Lineamientos para Subprogramas de la Agricultura Urbana (2008-2010). Editorial MINAG. La Habana, Cuba. pp. 4-14.
- Olivera, V. D. 2012. La degradación de los suelos en Cuba. <http://www.madrimasd.org> (Consultado 05 de julio 2015).
- Ortuño, M. F., J. J. Brito, W. Conejero, Y. García-Orellana and A. Torrecillas. 2009. Using continuously recorded trunk diameter fluctuations for estimating water requirements of lemon trees. *Irrig Sci.* 27:271-276.
- Pérez, A. 2011. Fertilización y requerimientos de nitrógeno para plantaciones de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner var. Robusta cultivada en suelos pardos de la región oriental Premontañosa de Cuba. Tesis de doctorado en Ciencias Agrícolas del INCA. La Habana, Cuba. 98 p.
- Pérez-Pastor, A., R. Domingo, A. Torrecillas and M. C. Ruiz-Sánchez. 2009. Response of apricot trees to deficit irrigation strategies. *Irrig Sci.* 27:231–242.
- Periódico Granma. 2007. Afrontar la escasez de agua. Año 11. No. 81. La Habana, Cuba. 26 de julio de 2007.
- Rodríguez, P. 2009. Relación agua planta. Proyecto: Acciones para el fortalecimiento y consolidación de un grupo de investigación de excelencia en el INCA-UNAH (Cuba) sobre optimización del uso del agua en agricultura. Código AECID: D/016779/08.
- Smith, M. 1993. CROWAT Programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Estudio FAO Riego y Drenaje No 46. Rome, Italia. 134 p.
- Speek, J., L. Barroso y M. Riera. 2007. Aporte a la tecnología de producción de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en condiciones de sequía. *Rev. Hombre, Ciencia y Tecnología* 44(4):1-10.

Steudle, E. 2001. The cohesion-tension mechanism and the acquisition of water by plant roots. *Annual Review of Plant Biology*. *Plant Mol. Biol.* 52: 847-875.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2008. *Plant physiology*. Quinta Edición. Editorial Cinaur. New York, USA. 623 p.