



Design of Sprinkling Irrigation System with Wind Pumping in the Garlic Cultivation

Diseño del sistema de riego por aspersión con bombeo eólico en el cultivo de ajo (Allium sativum L.)

MSc. Néstor Méndez-Jurjo¹, Dr.C. Oscar Brown-Manrique¹, Téc. Jorge Rodríguez-Cabrera¹,
MSc. Pablo Antonio Junco-Davis¹, MSc. Gustavo Humberto Arencibia-Zuñiga¹

¹ Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Ciego de Ávila, Cuba.

¹¹ Empresa Agropecuaria Arnaldo Ramírez, Primeo de Enero, Ciego de Ávila, Cuba.

ABSTRACT. The research was developed in “La Cuchilla” farm, located in Sabcú Community, Primero de Enero Municipality, Ciego de Ávila Province, with the objective of determining the design parameters of sprinkling irrigation system with wind pumping in the garlic cultivation. The results demonstrated that the sprinkling irrigation system with wind pumping works with flow average of $0,25 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, emitter pressure of 6,00 m, average intensity of $6,25 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ and irrigation time of 2,68 hours to contribute the quantity of water demanded by the cultivation. The agronomic parameters of the system are: net irrigation depth of 11,75 mm, gross irrigation depth of 16,78 mm, average irrigation interval of nine days and total gross water necessities for the cultivation of garlic of $3606,02 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. The average hydromodule is of $3,04 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ and the pipe flow of $1,02 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, which allows selecting a diameter of 50 mm. The irrigation volume required is of $3,42 \text{ m}^3$ (3420 L) that is guaranteed with the placement of a tank of water storage of 5000 L to a height of 6,00 m in correspondence with the topographical difference and the design load that is of 6,08 m that is the required for the good operation of the system.

Keywords: Renewable Energy, irrigation, pipe flow, design load.

RESUMEN. La investigación se desarrolló en la finca “La Cuchilla”, localizada en la comunidad de Sabcú en el municipio Primero de Enero, provincia Ciego de Ávila con el objetivo de determinar los parámetros de diseño del sistema de riego por aspersión con bombeo eólico en el cultivo del ajo. Los resultados demostraron que en sistema de riego por aspersión con bombeo eólico trabaja con caudal promedio de $0,25 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, presión del aspersor de 6,00 m, pluviometría media de $6,25 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ y tiempo de riego de 2,68 h para aportar la cantidad de agua demandada por el cultivo. Los parámetros agronómicos del sistema son: lámina neta de 11,75 mm, lámina bruta de 16,78 mm, intervalo de riego medio de nueve días y necesidades brutas totales para el cultivo del ajo de $3606,02 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. El hidromódulo promedio es de $3,04 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ y el caudal de la tubería conductora de $1,02 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, lo que permite seleccionar un diámetro de 50 mm. El volumen de riego requerido es de $3,42 \text{ m}^3$ (3420 L) que se garantiza con la colocación de un tanque de almacenamiento de agua de 5000 L a una altura de 6,00 m en correspondencia con el desnivel topográfico y la carga de diseño de 6,08 m, que es la requerida para el buen funcionamiento del sistema.

Palabras clave: energía renovable, irrigación, flujo en tubería, carga de diseño.

INTRODUCTION

One of the most important aspects in the development of human beings is the use of various forms to transform energy into electricity from natural resources. This constitutes one of the energy solutions for rural populations according to

INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes en el desarrollo del ser humano es el aprovechamiento de diversas formas de transformación de la energía en electricidad a partir de la utilización de los recursos naturales. Esto constituye una de las soluciones energéticas para las

¹ Author for correspondence: Néstor Méndez-Jurjo, e-mail: nestorm@unica.cu

Received: 06/07/2020.

Approved: 01/03/2021.

the needs to be covered through sustainable projects (Ojeda *et al.*, 2017) and the preservation of the environment (Andrade *et al.*, 2011). In this sense, there are several investigations that have been carried out in relation to the use of wind energy in rural communities (Munday *et al.*, 2011; Andreu *et al.*, 2013); Huesca *et al.*, 2016), which have shown that it is possible to efficiently use the wind energy potential for agricultural production through irrigation systems powered by wind energy. Important steps are being taken in Cuba to put wind pumping in function of crops irrigation, which will allow saving conventional energy resources. Therefore, the objective of this research was to determine the design parameters of the sprinkler irrigation system with wind pumping in garlic cultivation in Primero de Enero Municipality of Ciego de Ávila Province.

MATERIALS AND METHODS

The research was carried out during the years 2016, 2017 and 2018 at “La Cuchilla” farm, located in Sábicu Community in Primero de Enero Municipality, Ciego de Ávila Province, between coordinates 21° 52' of North Latitude and 78° 18' West Longitude, with an area of 7.5 hectares where different crops such as tomato, garlic, beans, corn, yucca, banana, lemon, mango, coconut and others are grown.

The soil of the experimental plot is Typical Red Ferrallitic type, which correlates with the Ferralsols order according to the International Union of Soil Sciences IUSS (2007). This soil has a depth of 0.35 cm and its hydro-physical properties are presented in Table 1, which shows the values of depth (P_r), natural humidity (H_n), soil density (ρ), density of the solid phase (ρ_s), field capacity (C_c), total porosity (P_T), aeration porosity (P_a) and micro porosity (M_p). The infiltration test was determined using the Method of Standardized Infiltrometer of Double Cylinder with the Kostiakov Equation Castaño *et al.* (2008). It allowed finding values of instantaneous velocity of 27.67 mm min⁻¹, initial velocity of 134.01 mm min⁻¹, average speed of 59.78 mm min⁻¹, basic speed of 33.67 mm min⁻¹ and accumulated speed of 358.69 mm 8h⁻¹.

poblaciones rurales de acuerdo a las necesidades que se requieren cubrir por medio de proyectos sostenibles según Ojeda *et al.* (2017) y la preservación del medio ambiente (Andrade *et al.*, 2011). En este sentido son varias las investigaciones que se han realizado en relación con el uso de la energía eólica en comunidades rurales Munday *et al.* (2011); Andreu *et al.* (2013); Huesca *et al.* (2016), las cuales han demostrado que es posible el aprovechamiento eficientemente del potencial energético eólico para la producción agrícola mediante los sistemas de riego accionado con energía eólica. En Cuba se dan pasos importantes para poner el bombeo eólico en función del riego de los cultivos, lo que permitirá el ahorro de recursos energéticos convencionales; por tanto, el objetivo de esta investigación consiste en determinar los parámetros de diseño del sistema de riego por aspersión con bombeo eólico en el cultivo del ajo en el municipio Primero de Enero de la provincia Ciego de Ávila.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó durante los años 2016, 2017 y 2018 en la finca “La Cuchilla”, localizada en la comunidad de Sábicu en el municipio Primero de Enero de la provincia Ciego de Ávila, entre las coordenadas 21°52' de Latitud Norte y 78°18' de Longitud Oeste, con una superficie de 7,5 hectáreas donde se desarrollan diferentes cultivos como tomate, ajo, frijoles, maíz, yuca, plátano, limón, mango, coco y otros.

El suelo de la parcela experimental es del tipo Ferralítico Rojo Típico el cual correlaciona con el orden Ferralsoles según la *International Union of Soil Sciences* IUSS (2007). Este suelo tiene una profundidad de 0,35 cm y sus propiedades hidrofísicas se exponen en la Tabla 1, en la que se muestran los valores de profundidad (P_r), humedad natural (H_n), densidad del suelo (ρ), densidad de la fase sólida (ρ_s), capacidad de campo (C_c), porosidad total (P_T), porosidad de aireación (P_a) y microporosidad (M_p). La prueba de infiltración se determinó mediante el método del infiltómetro estandarizado de doble cilindro con la ecuación de Kostiakov según Castaño *et al.* (2008) con el que se encontró valores de velocidad instantánea de 27,67 mm·min⁻¹, velocidad inicial de 134,01 mm·min⁻¹, velocidad media de 59,78 mm·min⁻¹, velocidad básica de 33,67 mm·min⁻¹ y velocidad acumulada de 358,69 mm·8 h⁻¹.

TABLE 1. Hydro physical properties of the soil IUSS (2007)
TABLA 1. Propiedades hidrofísicas del suelo IUSS (2007)

P_r (cm)	H_n (%)	ρ (g cm ⁻³)	ρ_s (g cm ⁻³)	C_c (%)	P_T (%)	P_a (%)	M_p (%)
0 - 20	24,36	1,23	2,63	31,76	58	26,24	35,26
20 - 40	24,57	1,36	2,7	30,81	53	22,19	39,13
40 - 60	26,07	1,44	2,79	32,68	59	26,32	37,26

The experimental area consisted of a 931.00 m² (95.00 m x 9.80 m) plot with 28 rows planted at a distance of 0.10 m between plants and 0.35 m between rows for a density of 285714 plants per hectare. The crop used was garlic of Gibara variety, which is traditionally sown by farmers in the area. Sprinkler irrigation was used because it is the technique with which they obtain acceptable yields and its use is justified exclusively by the empirical experiences of local producers. This procedure coincides with that investigated by Mendoza *et al.* (1989);

El área experimental consistió en una parcela de 931,00 m² (95,00 m x 9,80 m) con 28 surcos sembrados a una distancia de 0,10 m entre plantas y 0,35 m entre surcos para una densidad de 285 714 plantas por hectárea. El cultivo utilizado fue el ajo de la variedad Gibara, el cual se siembra de forma tradicional por campesinos de la zona. Se empleó del riego por aspersión por ser la técnica con el que obtienen rendimientos aceptables y su utilización se justifica exclusivamente por las experiencias empíricas de los productores locales. Este proceder coincide con lo investigado por Mendoza

Hanson *et al.*, 2003; Prato (2016) from the use of sprinkler irrigation in this crop.

The irrigation system designed is of sprinkler type, powered by wind energy through a multi blade mill, SAMSON 1888 PAT. D model with tower height of 10 m, rotor diameter of 2.52 m, number of blades 15, pump cylinder diameter of 80 mm, piston displacement of 60 mm and starting speed of 2.5 m s⁻¹ (Méndez *et al.*, 2019).

The irrigation system consists of the following parts (Figure 1): wind pump, elevated tank with the determined height (H_{tan}), system design load (H_D), conductive pipe with diameter (D_c) of 50 mm and length (L_c) of 67.00 m, length from the volumetric pump to the beginning of the plot (L_{B-P}) of 67.00 m, slope of the terrain (S_o), elevation difference between the base of the pump and the plot (Δ_z) of 0.50 m measured topographically by a total station of the GGHH-90 model, lateral pipe length (L_l) of 95 m and six sprinklers (N_a).

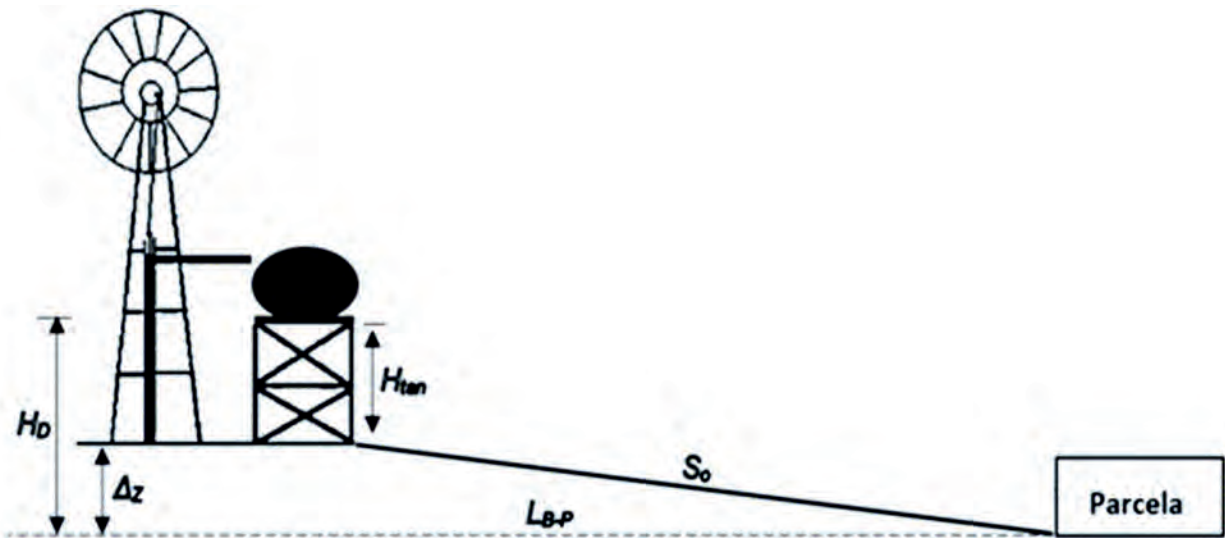


FIGURE 1. Diagram of the sprinkler irrigation system with wind pumping.
 FIGURA 1. Esquema del sistema de riego por aspersión con bombeo eólico.

The sprinkler used in the investigation is NaanDanJain 5022 model with low flow impact, 2.5 mm diameter bayonet outlet nozzle and integral jet directing fin. The spacing between laterals and sprinklers was 12 m with an emitter height of 0.60 m above the ground. A fixed lateral pipe and six emitters operating simultaneously (Figure 2) were used in which flow and outlet pressure data were taken at each of the points where the sprinklers were located.

The flow rate of the sprinkler (q_a) was determined using the Volumetric Gauging Method (Playán *et al.*, 2005). The measurement was made at the nozzle of the sprinkler and the water depth that is supplied to the soil in the unit of time to satisfy the water demand of the crop was determined. Instruments were used as a test tube with a milliliter scale and a digital stopwatch with precision of 2 seconds. The effect caused by the intensity of application of the sprinkler was evaluated by comparing the sprinkler precipitation (I_a) and the infiltration capacity of the soil (v_i); having to achieve that $I_a < v_i$ so that surface runoff does not occur.

et al. (1989); Hanson *et al.*, 2003; Prato (2016), a partir de la utilización del riego por aspersión en este cultivo.

El sistema de riego diseñado es del tipo aspersión accionado con energía eólica a través de un molino multipala de la marca SAMSON 1888 PAT. D con altura de la torre de 10 m; diámetro del rotor de 2,52 m; número de palas 15; diámetro del cilindro de la bomba 80 mm; longitud de la carrera 60 mm y velocidad de arranque 2,5 m·s⁻¹ (Méndez *et al.*, 2019).

El sistema de riego consta de las siguientes partes (Figura 1): aerobomba; tanque elevado con la altura determinada (H_{tan}); carga de diseño del sistema (H_D); tubería conductora con diámetro (D_c) de 50 mm y longitud (L_c) de 67,00 m; longitud desde la bomba volumétrica al inicio de la parcela (L_{B-P}) de 67,00 m; pendiente del terreno (S_o); diferencia de cotas entre la base de la bomba y la parcela (Δ_z) de 0,50 m medida topográficamente mediante una estación total de la marca GGHH-90; longitud de la tubería lateral (L_l) de 95 m y seis aspersores (N_a).

El aspersor utilizado en la investigación es del modelo NaanDanJain 5022 a impacto de bajo caudal, boquilla de salida a bayoneta de 2,5 mm de diámetro y aleta integral de direccionamiento del chorro. El espaciamiento entre laterales y aspersores fue de 12 m con una altura del emisor de 0,60 m sobre el suelo. Se utilizó una tubería lateral fija y seis emisores funcionando simultáneamente (Figura 2) en la que se tomaron datos de caudal y presión de salida en cada uno de los puntos en donde están ubicados los aspersores.

El caudal del aspersor (q_a) se determinó mediante el método de aforo volumétrico (Playán *et al.*, 2005). La medición se realizó en la boquilla del aspersor y se determinó la lámina de agua que se aporta al suelo en la unidad de tiempo para satisfacer la demanda hídrica del cultivo. Se utilizó como instrumentos una probeta graduada a escala de un mililitro y un cronómetro digital con precisión hasta los segundos. El efecto que provoca la intensidad de aplicación del aspersor se evaluó mediante la comparación de la pluviometría del aspersor (I_a) y la capacidad de infiltración del suelo (v_i); debiéndose lograr que $I_a < v_i$ para que no ocurra escorrentía superficial.



FIGURE 2. Irrigation side with sprinklers operating simultaneously.
FIGURA 2. Lateral de riego con los aspersores funcionando simultáneamente.

The working pressure was measured with a Bourdon metal manometer DeWit model, with a total pressure of 11 bar (1100 kPa) and precision of 0.20 bar (20 kPa) as shown in Figure 3. The pressure difference between two sprinklers of a branch, should not be greater than 20% of the working pressure of the sprinkler chosen. Five repetitions of both parameters were carried out to work with the average value.

La presión de trabajo se midió con un manómetro metálico de Bourdon de la marca DeWit con presión total de 11 bar (1100 kPa) y precisión de 0,20 bar (20 kPa) como se muestra en la Figura 3. La diferencia de presión entre dos aspersores de un ramal, no debe ser mayor al 20% de la presión de trabajo del aspersor elegido. Se realizaron cinco repeticiones de ambos parámetros para trabajar con el valor promedio.



FIGURE 3. Procedure for measuring the flow and pressure of the sprinkler.
FIGURA 3. Procedimiento para la medición del caudal y la presión del aspersor.

Irrigation programming was planned based on the water demand of the crop and the hydrophysical properties of the soil; therefore, different parameters were calculated such as: net irrigation depth, gross irrigation depth, sprinkler rainfall, irrigation interval, irrigation number and irrigation time.

The calculation of the gross irrigation depth was based on the relationship between the net irrigation depth required by garlic cultivation according to the characteristics of the existing Red Ferralitic soil and the estimated efficiency in the irrigation system installed in the experimental plot. The equation used was the following:

La programación del riego se planificó en función de la demanda hídrica del cultivo y las propiedades hidrofísicas del suelo; por lo que se calcularon diferentes parámetros como: lámina neta de riego, lámina bruta de riego, pluviometría del aspersor, intervalo de riego, número de riego y tiempo de riego.

El cálculo de la lámina bruta de riego se basó en la relación entre la lámina neta de riego requerida por el cultivo del ajo acorde con las características del suelo Ferralítico Rojo existente y la eficiencia estimada en el sistema de riego instalado en la parcela experimental. La ecuación empleada fue la siguiente:

$$L_b = \frac{L_n}{\eta_s} \quad (1)$$

$$L_n = 10 \cdot P_r \cdot \rho (C_c - L_p) NAP \quad (2)$$

Where: L_b is the gross irrigation depth (mm); L_n the recommended net irrigation depth (mm); P_r the depth of the root system (m); ρ the density of the soil (g cm^{-3}); C_c the field capacity in percentage based on dry soil (% bss); L_p the productive limit of the soil, estimated at 0.80 C_c (% bss); NAP is the level of allowable depletion (0.55) according to Sandoval (2017) and Álvarez (2018) and η_s is the irrigation application efficiency (estimated at 0.70).

The calculation of the irrigation time was obtained from the relationship between the gross irrigation depth and the sprinkler precipitation; the latter was estimated from the flow rate of the sprinkler and the area of soil watered by a sprinkler, which made it possible to know more accurately the amount of water contributed to the crop in the unit of time.

$$T_r = \frac{L_b}{I_a} \quad (3)$$

$$I_a = 3600 \left(\frac{q_a}{A_a} \right) \quad (4)$$

$$A_a = E_a \cdot E_L \quad (5)$$

Where: I_a is the sprinkler precipitation (mm h^{-1}); q_a the flow rate of the sprinkler (L s^{-1}); A_a the area of soil watered by a sprinkler (m^2).

The calculation of the flow rate that the conductive pipe of the irrigation system must conduct was carried out taking into account the evapotranspiration of the crop determined according to Allen et al. (2006) and the efficiency of irrigation application and the gross hydro module, according to Pacheco et al. (2007). With this parameter, the economic diameter of the conductive pipe was determined using Bresse Equation.

$$Q_c = q_b \cdot A_p \quad (6)$$

$$q_b = \frac{N_b}{86,4 \cdot d} \quad (7)$$

$$N_b = \frac{10(ET_c - P_e)}{\eta_s} \quad (8)$$

$$D_c = 1,1284 \sqrt{\frac{Q_c}{v}} \quad (9)$$

Where: Q_c is the flow of the conductive pipe (L s^{-1}); q_b the gross hydro module ($\text{L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$); A_p the area irrigated by the system (ha); ET_c the evapotranspiration of the culture (mm month^{-1}); P_e the effective precipitation (mm month^{-1}); d irrigation days (0.80 I_r was assumed); η_s is the irrigation application efficiency (dimensionless) and v the average velocity of the water in the pipe (ms^{-1}).

$$L_b = \frac{L_n}{\eta_s} \quad (1)$$

$$L_n = 10 \cdot P_r \cdot \rho (C_c - L_p) NAP \quad (2)$$

donde: L_b es la lámina bruta de riego (mm); L_n la lámina neta de riego recomendada (mm); P_r la profundidad del sistema de raíces (m); ρ la densidad del suelo (g cm^{-3}); C_c la capacidad de campo en porcentaje en base al suelo seco (%bss); L_p el límite productivo del suelo, estimado al 0,80 C_c (%bss); NAP el nivel de agotamiento permisible (0,55) según Sandoval (2017) y Álvarez (2018); η_s la eficiencia de aplicación del riego (estimada en 0,70).

El cálculo del tiempo de riego se obtuvo de la relación entre la lámina bruta de riego y la pluviometría del aspersor; esta última se estimó a partir del caudal del aspersor y el área de suelo regada por un aspersor, lo que posibilitó conocer con mayor exactitud la cantidad de agua aportada al cultivo en la unidad de tiempo.

$$T_r = \frac{L_b}{I_a} \quad (3)$$

$$I_a = 3600 \left(\frac{q_a}{A_a} \right) \quad (4)$$

$$A_a = E_a \cdot E_L \quad (5)$$

donde: I_a es la pluviometría del aspersor (mm h^{-1}); q_a el caudal del aspersor (L s^{-1}); A_a el área de suelo regada por un aspersor (m^2).

El cálculo del caudal que debe conducir la tubería conductora del sistema de riego se realizó teniendo en cuenta la evapotranspiración del cultivo determinada según Allen et al. (2006), la eficiencia de aplicación del riego y el hidromódulo bruto Pacheco et al. (2007). Con este parámetro se determinó el diámetro económico de la tubería conductora mediante la ecuación de Bresse.

$$Q_c = q_b \cdot A_p \quad (6)$$

$$q_b = \frac{N_b}{86,4 \cdot d} \quad (7)$$

$$N_b = \frac{10(ET_c - P_e)}{\eta_s} \quad (8)$$

$$D_c = 1,1284 \sqrt{\frac{Q_c}{v}} \quad (9)$$

donde: Q_c es el caudal de la tubería conductora (L s^{-1}); q_b el hidromódulo bruto ($\text{L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$); A_p el área que riega el sistema (ha); ET_c la evapotranspiración del cultivo (mm mes^{-1}); P_e la precipitación efectiva (mm mes^{-1}); d los días de riego (se asumió el 0,80 I_r); η_s la eficiencia de aplicación del riego (adimensional); v la velocidad media del agua en la tubería (m s^{-1}).

The hydraulic calculation of the irrigation system was based on the use of the equations that are listed below:

$$q_L = q_a \cdot N_a \quad (10)$$

$$V_r = q_L \cdot T_r \quad (11)$$

$$F_c = 0,3636 + \frac{1}{N_s} + \frac{0,1443}{N_s^2} \quad (12)$$

$$hf_T = 1,10(hf_c + hf_L) \quad (13)$$

$$H_D > P_a + hf_T \quad (14)$$

$$H_{tan} = H_D - \Delta_Z \quad (15)$$

$$\Delta_Z = C_B - C_p \quad (16)$$

Where: q_L is the flow of the lateral irrigation ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); V_r the volume of the lateral irrigation (m^3); hf_c the friction pressure loss in the conductive pipe (m); hf_L the loss of pressure due to friction in the lateral pipe (m); hf_T the total load loss of the system (m); v_c and v_L are the flow velocities, in the conductor and the lateral respectively ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); F_c the Christiansen Multiple Output Correction Factor; N_s the number of sprinkler outlets on the side (dimensionless); H_D the design load of the system (m); P_a the pressure of the sprinkler measured with the manometer (m); H_{tan} the height of the water storage tank (m); Δ_Z the elevation difference between the base of the pump and the plot (m); C_B the elevation of the location of the pump (m.a.s.l) and C_p the elevation at the beginning of the irrigation plot (m.a.s.l).

RESULTS AND DISCUSSION

In Table 2, the average flow obtained experimentally which was 0.25 L s^{-1} and the area irrigated by each sprinkler that was 144 m^2 , are shown. The average precipitation was 6.25 mm h^{-1} , which provided an irrigation time of 2.68 hours to supply the amount of water demanded by the crop

TABLE 2. Parameters of pipes and sprinkler
TABLA 2. Parámetros de las tuberías y el aspersor

Parameters	Value
Sprinkler flow, q_a (L s^{-1}).	0.25
Area irrigated by the sprinkler, A_a (m^2).	144.00
Sprinkler precipitation, I_a (mm h^{-1}).	6.25
Irrigation time, T_r (h).	2.68

In Table 3, a summary of the parameters necessary to determine the water demand of the garlic crop is presented. It is observed that based on the local rainfall regime for the months of December to March, the total precipitation in that period is 169.46 mm ; however, the one that can be exploited by the crop is 61.67 mm for a rain utilization coefficient of 0.36, which justifies the need for irrigation. On the other hand, it is expressed in the table itself that in the vegetative cycle the net needs are 252.42 mm ; while the evapotranspiration of the culture is 314.09 mm , obtaining a negative water balance of 61.67 mm

El cálculo hidráulico del sistema de riego se basó en el uso de las ecuaciones que se relacionan a continuación:

$$q_L = q_a \cdot N_a \quad (10)$$

$$V_r = q_L \cdot T_r \quad (11)$$

$$F_c = 0,3636 + \frac{1}{N_s} + \frac{0,1443}{N_s^2} \quad (12)$$

$$hf_T = 1,10(hf_c + hf_L) \quad (13)$$

$$H_D > P_a + hf_T \quad (14)$$

$$H_{tan} = H_D - \Delta_Z \quad (15)$$

$$\Delta_Z = C_B - C_p \quad (16)$$

donde: q_L es el caudal del lateral de riego ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); V_r el volumen del lateral de riego (m^3); hf_c la pérdida de carga por fricción en la tubería conductora (m); hf_L la pérdida de carga por fricción en la tubería lateral (m); hf_T la pérdida de carga total del sistema (m); v_c y v_L las velocidades del flujo en la conductora y el lateral respectivamente ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); F_c el Factor de corrección por salidas múltiples de Christiansen; N_s el número de salidas del aspersor en el lateral (adimensional); H_D la carga de diseño del sistema (m); P_a la presión del aspersor medida con el manómetro (m); H_{tan} la altura del tanque de almacenamiento de agua (m); Δ_Z el desnivel topográfico entre la bomba y la parcela de riego (m); C_B la cota de emplazamiento de la bomba (msnm); C_p la cota al inicio de la parcela de riego (msnm).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestra que el caudal promedio obtenido de forma experimental es $0,25 \text{ L s}^{-1}$ y el área que riega cada aspersor es de 144 m^2 ; por lo que la pluviometría media es de $6,25 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, lo que proporciona un tiempo de riego de 2,68 horas para aportar la cantidad de agua demandada por el cultivo.

En la Tabla 3 se presenta un resumen de los parámetros necesarios para la determinación la demanda hídrica del cultivo de ajo. Se observa que, a partir del régimen de precipitaciones de la localidad para los meses de diciembre a marzo, la precipitación total en ese periodo es de $169,46 \text{ mm}$; sin embargo, la que puede ser aprovechable por el cultivo es de $61,67 \text{ mm}$ para un coeficiente de aprovechamiento de la lluvia de 0,36, lo que justifica la necesidad de riego. Por otra parte se expone en la propia tabla que en el ciclo vegetativo las necesidades netas son de $252,42 \text{ mm}$; mientras que la evapotranspiración del cultivo es de $314,09 \text{ mm}$, obteniéndose un

that needs to be replaced by irrigation with the application of a net irrigation depth of 11.75 mm and a gross irrigation depth of 16.78 mm in an irrigation interval that varies in each month from 4 days to 20 days with a mean value of nine days.

The total gross needs for garlic cultivation are 3606.02 m³ ha⁻¹, which, referring to 0.093 ha, which is the area irrigated by the irrigation system, allows a water volume of 335.72 m³ to be provided throughout the vegetative cycle of the crop. The hydro module obtained ranges between 0.19 L s⁻¹ ha⁻¹ and 4.79 L s⁻¹ ha⁻¹ with a mean value of 3.04 L s⁻¹ ha⁻¹; therefore, the flow that circulates through the conductive pipe is 1.02 m³ h⁻¹.

balance hídrico negativo de 61,67 mm que se requiere reponer mediante la irrigación con la aplicación de una lámina neta de 11,75 mm y una lámina bruta de 16,78 mm en un intervalo de riego que varía en cada mes desde 4 días a 20 días con un valor medio de nueve días.

Las necesidades brutas totales del cultivo del ajo son de 3606,02 m³·ha⁻¹, que referidas a 0,093 ha que es el área que riega el sistema de riego, permite aportar un volumen de agua de 335,72 m³ en todo el ciclo vegetativo del cultivo. El hidromódulo obtenido oscila entre 0,19 L·s⁻¹ ha⁻¹ y 4,79 L·s⁻¹ ha⁻¹ con un valor medio de 3,04 L·s⁻¹ ha⁻¹; por lo que el caudal que circula por la tubería conductora es de 1,02 m³·h⁻¹.

TABLE 3. Agronomic parameters for calculating the conductor flow
TABLA 3. Parámetros agronómicos para el cálculo del caudal de la conductora

Parameters	Dec.	Jan	Feb.	Mar.	Total	Average
Days of the month, d_m (days).	31	31	28	31	90	
Precipitation, P (mm mes ⁻¹).	43,5	30,1	42,2	53,7	169,46	42,36
Effective precipitation, P_e (mm mes ⁻¹).	16,1	8,0	15,3	22,2	61,67	15,42
Referential Evapotranspiration, ET_o (mm mes ⁻¹).	76,6	83,8	103,3	139,1	402,76	100,69
Crop coefficient, K_c (adim).	0,45	0,62	1,10	0,82	2,99	0,75
Crop evapotranspiration, ET_c (mm mes ⁻¹).	34,5	51,9	113,6	114,1	314,09	78,52
Net irrigation depth, L_n (mm).	6,71	11,75	11,75	11,75	41,95	10,49
Gross irrigation depth, L_b (mm).	9,59	16,78	16,78	16,78	59,93	14,98
Net needs, N_n (mm mes ⁻¹).	18,4	43,9	98,3	91,9	252,42	63,11
Gross needs, N_b (m ³ ha ⁻¹).	262,6	627,0	1404,1	1312,3	3606,02	901,50
Irrigation interval, I_r (days).	20	8	3	4	35,41	9
Irrigation days, d (days).	16	7	3	3	28,33	7
Gross hydro module, q_b (L s ⁻¹ ha ⁻¹).	0,19	1,09	6,07	4,79	12,15	3,04
Flow of the conductive pipe, Q_c (m ³ h ⁻¹).	0,06	0,37	2,03	1,61	4,07	1,02

In Table 4, the fundamental parameters of the pipes and the sprinkler are shown. It is observed that the diameter selected for the conduit and the lateral is of 50 mm, because with the flow of 1.02 m³ h⁻¹ an economic diameter of 41.6 mm was obtained and the commercial diameter of 50 mm was adopted, because it allows reducing the losses of energy by friction and localized them to favor the work of the sprinklers. The irrigation system has a difference in level Δ_z between the base of the pump and the plot of 0.50 m and a pressure of the sprinkler at the most critical point of 6.00 m.

En la Tabla 4 se exponen los parámetros fundamentales de las tuberías y el aspersor. Se observa que el diámetro seleccionado para la conductora y el lateral de 50 mm, debido a que con el caudal de 1,02 m³·h⁻¹ se obtuvo un diámetro económico de 41,6 mm y se adoptó el diámetro comercial de 50 mm, porque permite reducir las pérdidas de energía por fricción y localizadas para favorecer el trabajo de los aspersores. El sistema de riego presenta un desnivel Δ_z entre la base de la bomba y la parcela de 0,50 m y una presión del aspersor en el punto más crítico de 6,00 m.

TABLE 4. Parameters of the pipes and the sprinkler
TABLA 4. Parámetros de las tuberías y el aspersor

Parameters	Value
Conductive pipe diameter, D_c (m).	0,050
Lateral pipe diameter, D_L (m).	0,050
Elevation difference between the pump base and the plot, Δ_z (m).	0,50
Sprinkler pressure, P_s (m).	6,00

In Table 5, it is shown that with a lateral of 50 mm, the flow through the pipe is 1.50 m³ h⁻¹, so the irrigation volume is 3.42 m³ (3 420 L). The system guarantees this volume through a water storage tank with a capacity of 5000 L and dimensions of 1.25 m in diameter and 4.10 m long. Total losses were relatively low at 0.13 m, giving a design load of 6.08 m and a tank placement height of 5.58 m (6.00 m).

En la Tabla 5 se muestra que con un lateral de 50 mm, el caudal que circula por la tubería es de 1,50 m³·h⁻¹, por lo que el volumen de riego es de 3,42 m³ (3420 L). El sistema garantiza este volumen a través de un tanque de almacenamiento de agua con capacidad de 5000 L y dimensiones de 1,25 m de diámetro y 4,10 m de largo. Las pérdidas totales fueron relativamente bajas de 0,13 m, dando una carga de diseño de 6,08 m y una altura de colocación del tanque de 5,58 m (6,00 m).

TABLE 5. Hydraulic losses, design load and tank height
TABLA 5. Pérdidas hidráulicas, carga de diseño y altura del tanque

Parameters	Value
Lateral flow, q_L (m ³ /h).	1,50
Irrigation volume, V_r (m ³).	3,42
Friction losses in the conductor, hf_c (m).	0,10
Correction factor for multiple outputs from Christiansen, F_c .	0,45
Friction losses on the lateral and the conductor, hf (m).	0,08
Total friction losses, hf_r (m).	0,13
Design load, H_D (m).	6,08
Tank height, H_{tan} (m).	5,58

CONCLUSIONS

- The wind sprinkler irrigation system works with an average flow of 0.25 L s⁻¹, sprinkler pressure of 6.00 m, average precipitation of 6.25 mm h⁻¹ and irrigation time of 2.68 hours to supply the amount of water demanded by the crop.
- The agronomic parameters of the system are: net irrigation depth of 11.75 mm, gross irrigation depth of 16.78 mm, average irrigation interval of nine days and total gross needs for garlic cultivation of 3606.02 m³ ha⁻¹.
- The average hydromodule is 3.04 L s⁻¹ ha⁻¹ and the flow of the conductive pipe is 1.02 m³ h⁻¹. That allow selecting a diameter of 50 mm.
- The required irrigation volume is 3.42 m³ (3420 L) which is guaranteed by a water storage tank of 5000 L located at a height of 5.58 m (6.00 m) in correspondence with the topographical difference between the elevation at the base of the pump and the elevation at the beginning of the plot and the design load, which is 6.08 m, which is required for the correct functioning of the system.

CONCLUSIONES

- En sistema de riego por aspersión eólico trabaja con caudal promedio de 0,25 L·s⁻¹, presión del aspersor de 6,00 m, pluviometría media es de 6,25 mm·h⁻¹ y tiempo de riego de 2,68 horas para aportar la cantidad de agua demandada por el cultivo.
- Los parámetros agronómicos del sistema son: lámina neta de 11,75 mm, lámina bruta de 16,78 mm, intervalo de riego medio de nueve días y necesidades brutas totales para el cultivo del ajo de 3606,02 m³·ha⁻¹.
- El hidromódulo promedio es de 3,04 L·s⁻¹·ha⁻¹ y el caudal de la tubería conductora de 1,02 m³·h⁻¹, lo que permite seleccionar un diámetro de 50 mm.
- El volumen de riego requerido es de 3,42 m³ (3420 L) que se garantiza con la colocación de un tanque de almacenamiento de agua de 5000 L a una altura de 5,58 m (6,00 m) en correspondencia con el desnivel topográfico entre la cota en la base de la bomba y cota al inicio de la parcela y la carga de diseño que es de 6,08 m, que es la requerida para el correcto funcionamiento del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVILA, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMUTH, M.: "Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos Estudio FAO Riego y Drenaje 2006, ISBN 92-5-304219-2.
- ÁLVAREZ, I.: Metodología para el uso sostenible del agua con fines hidroenergéticos y agrícolas en la cuenca del río Suchiate de Guatemala, 140 pp., Ed. Editorial Académica Española, 2018. ISBN: 978-6202105095.
- ANDRADE, C.S.; ROSA, L.P.; DA SILVA, N.F.: "Generation of electric energy in isolated rural communities in the Amazon Region a proposal for the autonomy and sustainability of the local populations", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1):493-503, 2011, ISSN: 493-503.
- CASTAÑO, S.; MORENO, L.; DE LA LOZA, A.; AGUILERA, H.; JIMÉNEZ, M.E.; MEDIÁVILLA, R.: "Evaluación de pérdidas de agua y parámetros hidráulicos mediante ensayos de infiltración en campo". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16(1), 64-71, 2008, ISSN: 1132-9157.
- GOODBODY, C., WALSH, E., MCDONNELL, K.P., OWENDE, P.: "Regional integration of renewable energy systems in Ireland – The role of hybrid energy systems for small communities". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 44(1), 713–720, 2013, ISSN: 2012-08-012.
- HANSON, B.; MAY, D.; VOSS, R.; CANTWELL, M.; RICE R.: "Response of garlic to irrigation water". *Agric. Water Manage*, 58, 29-43, 2003, ISSN: 0378-3774.
- HUESCA, M.E.; SHEINBAUM, C.; KÖPPEL, J.: "Social implications of siting wind energy in a disadvantaged region - The case of the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 952–965, 2016, ISSN: 1364-0321.
- MÉNDEZ, J.N.; BROWN, M.O.; RODRÍGUEZ, C.J.; JUNCO, D.P.A.: "Characterization of the Wind Speed to Design an Aspersión Irrigation System with Eolic Pumping", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(4): 73-80, 2019, ISSN: 2071-0054.
- MENDOZA, M.R.G.; RAMÍREZ, L.A.; RINCON, M.: "Respuesta del ajo a un gradiente de humedad". *Ingeniería e Investigación*, 39-44, 1989, ISSN: 2248-8723...
- MUNDAY, M.; BRISTOW, G.; COWELL, R.: "Wind farms in rural areas: How far do community benefits from wind farms represent a local economic development opportunity?" *Journal of Rural Studies*, 27(1), 1–12, 2011, ISSN: 0743-0167.
- OJEDA, E.; CANDELO, J.E.; SILVA, J.I.: "Solar and Wind Energy Potential characterization to Integrate Sustainable Projects in Native Communities in La Guajira Colombia", *Revista Espacios*, 38(37), 1-11, 2017, ISSN: 0798 1015.

- PACHECO, J.; ALONSO, N.; PUJOL, P.; CAMEJO, E.: "Riego y Drenaje". Ed. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Cuba, pp.414, 1995, ISBN: 959-13-0146-4.
- PLAYAN, E.; SALVADOR, R.; FACI, J.M.; ZAPATA, N. MARTINEZ, A.; SÁNCHEZ, I.: "Day and night wind drift and evaporation losses in sprinklers solid-set and moving lateral". *Agricultural Water Management* 76: 139-159, 2005, ISSN: 1541-1546.
- PRATO, A.I.: "Evaluación financiera de ajo (*Allium sativum L.*), morado Nacional y Peruano en el altiplano cundiboyacense, Colombia". *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 17(1), 43-53, 2016, ISSN: 0122-8706.
- SANDOVAL, L.M.: "Modelos matemáticos para la estimación de caudales con vertederos de pared delgada y orificios utilizados en sistemas de riego", 122 pp., Ed. Editorial Universitaria, La Habana, Cuba, 2017, ISBN: 978-959-16-4261-5.
- IUSS.: "Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos, No. 103. FAO, Roma, 2007, ISBN: 1020-430X.

Néstor Méndez-Jurjo, Profesor, Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Departamento de Ingeniería Hidráulica, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: nestorm@unica.cu

Oscar Brown-Manrique, Profesor Titular, Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: obrown@unica.cu

Jorge Rodríguez-Cabrera, Téc., Empresa Agropecuaria Arnaldo Ramírez, MINAG, Primeo de Enero, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: jlrodriguez@nauta.cu

Pablo Antonio Junco-Davis, Profesor, Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Departamento de Mecánica Aplicada, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: pabloa@unica.cu

Gustavo Humberto Arencibia Zuñiga, Profesor, Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Departamento de Mecánica Aplicada, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: gustavoz@unica.cu

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.

