



**Efectos de humedad, rendimiento y ahorro energético con  
bombeo eólico en el riego por aspersión**  
**Effects of humidity, performance and energy savings with  
wind pumping in sprinkler irrigation**

Nestor Mendez Jurjo<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-5883-7311>

Pablo Antonio Junco Davis<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0009-0006-3739-1502>

Alexander Corrales Rojo<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0009-0000-7958-6750>

Isaliet González Rivero<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0009-0008-9923-4494>

Aidny Martin Domínguez<sup>3</sup>

<https://orcid.org/0009-0001-3778-2208>

<sup>1</sup>Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Ciego de Ávila, Cuba

<sup>2</sup>Empresa de Aprovechamiento Hidráulico, Ciego de Ávila. Cuba

<sup>3</sup>Correo Pedro Ballester, Primero de Enero, Ciego de Ávila. Cuba

[mendezjurjo6690@gmail.com](mailto:mendezjurjo6690@gmail.com) [pajuncodavis@gmail.com](mailto:pajuncodavis@gmail.com)

[alexandercorralesrojo@gmail.com](mailto:alexandercorralesrojo@gmail.com) [Isaliet2003@gmail.com](mailto:Isaliet2003@gmail.com)

[aidnymartindominguez@gmail.com](mailto:aidnymartindominguez@gmail.com)

---

**Recibido:** 2024/09/10    **Aceptado:** 2025/01/10    **Publicado:** 2025/03/07

---

**Resumen**

**Introducción:** El uso de bombeo eólico para riego por aspersión elimina la necesidad de combustibles fósiles, lo que reduce significativamente el consumo de energía. El ahorro energético depende de la disponibilidad y la calidad del recurso eólico en la ubicación específica, esto permitió un ahorro energético de 27,66 kWh, lo que representa una cantidad de 146,77 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea, que se dejó de emitir a la atmósfera. El bombeo eólico puede ser una opción rentable en áreas con buen potencial eólico y altos costos de energía convencional. **Objetivo:**

159

Cite este artículo como:

Mendez Jurjo, N., Junco Davis, P.A., Corrales Rojo, A., González Rivero, I. y Martín Domínguez, A. (2025). Efectos de humedad, rendimiento y ahorro energético con bombeo eólico en el riego por aspersión. *Universidad & ciencia*, 14(1), 159-173.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8645>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14968783>



determinar los efectos de la humedad, ahorro energético y rendimiento en el cultivo del ajo con el sistema de riego por aspersión al mínimo costo posible. **Método:** El sistema de riego es accionado con energía eólica a través de un molino multipala con altura de la torre de 10 m. Para el diseño del molino de viento se partió de los siguientes datos iniciales adoptado según la experiencia de los productores y criterios técnicos establecidos para este tipo de dispositivo. **Resultados:** Los resultados muestran para estas condiciones de velocidades del viento incidente la potencia útil de la aerobomba se incrementa según los valores de revoluciones del rotor eólico que oscilan entre 18,95 y 90,95 rpm, con un coeficiente de potencia de 0,22 acorde con las condiciones climatológicas del lugar y las características específicas del molino de viento diseñado. **Conclusión:** se obtuvo que el caudal teórico y real de la bomba volumétrica varía proporcionalmente con la velocidad del viento incidente, la precipitación total en ese periodo es de 169,46 mm, se observa que a partir del régimen de precipitaciones de la localidad; sin embargo, la que puede ser aprovechable por el cultivo es de 61,67 mm para un coeficiente de aprovechamiento de la lluvia de 0,36. además en las tres campañas evaluadas el rendimiento del cultivo alcanzó valores de 4,38 t/ha<sup>-1</sup>; 4,51 t/ha<sup>-1</sup> y 4,46 t/ha<sup>-1</sup> respectivamente, con un promedio de 4,45 t/ha<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** ahorro de energía; bombeo; cultivo; humedad; rendimiento del ajo

### Abstract

**Introduction:** The use of wind pumping for sprinkler irrigation eliminates the need for fossil fuels, which significantly reduces energy consumption. Energy savings depend on the availability and quality of the wind resource at the specific location, this allowed an energy saving of 27.66 kWh, which represents an amount of 146.77 kg of CO<sub>2</sub> equivalent per hectare, which was not emitted into the atmosphere. Wind pumping can be a cost-effective option in areas with good wind potential and high conventional energy costs. **Objective:** To determine the effects of humidity, energy savings and yield in garlic cultivation with the sprinkler irrigation system at the lowest possible cost.

**Method:** The irrigation system is powered by wind energy through a multi-blade windmill with a tower height of 10 m. The following initial data were used to design the



windmill, based on the experience of producers and technical criteria established for this type of device. **Results:** show that for these incident wind speed conditions the useful power of the wind pump increases according to the wind rotor revolution values that range between 18.95 and 90.95 rpm, with a power coefficient of 0.22 in accordance with the weather conditions of the site and the specific characteristics of the designed windmill. **Conclusion:** It was obtained that the theoretical and real flow of the volumetric pump varies proportionally with the incident wind speed, the total precipitation in that period is 169.46 mm, it is observed that from the precipitation regime of the locality; however, the one that can be used by the crop is 61.67 mm for a coefficient of use of the rain of 0.36. In addition, in the three campaigns evaluated the yield of the crop reached values of 4.38 t / ha<sup>-1</sup>; 4.51 t / ha<sup>-1</sup> and 4.46 t / ha<sup>-1</sup> respectively, with an average of 4.45 t / ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** cultivation; energy saving; garlic yield; humidity; pumping

### Introducción

Según la International Energy Agency (IEA), en la Unión Europea, las Energías Renovables representaron el 86 % de la capacidad de generación de energía, con mayor participación de la energía eólica y la fotovoltaica. Esta organización internacional afirma que el consumo de energías renovables en el mundo, se ha incrementado en un promedio de 2,3 % desde el año 2016, lo cual ha contribuido a que las emisiones globales de carbono asociadas al consumo de energía se mantuvieran, debido a los efectos en el aumento en la penetración de las Energías Renovables (ER) y las mejoras en la eficiencia energética. Todo lo anterior justifica la necesidad de incrementar la utilización de energías renovables y limpias en todo el mundo, complementándola con el uso racional del recurso (Ahuja, 2008; Pillai y Banerjee, 2009; García, 2013; Hauser *et al.*, 2014; Meier, 2014; Yan *et al.*, 2014; Erisman *et al.*, 2015; Cabezas *et al.*, 2018).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) afirma que el petróleo lidera actualmente la fuente energética primaria con una participación del 32 % en el consumo global de energía (Robles y Rodríguez, 2018).



El riego por aspersión tiene una gran adaptabilidad a los diferentes cultivos de alto valor agregado, lo cual permite la optimización en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales; de esa manera se expresa la factibilidad del sistema en el cumplimiento del marco integral de sostenibilidad para la producción bio-integrada y sostenible de las poblaciones alejadas, con el control adecuado del flujo de agua acorde a las necesidades requeridas por los cultivos. Este sistema puede ser conectado a un sistema que genere la demanda de energía requerida por una bomba para la impulsión de agua mediante sistemas de tuberías, válvulas y aspersores permitiendo el riego de la superficie (Moreno, 2017).

En los últimos años, la demanda mundial de energía renovable, principalmente la energía eólica, ha aumentado (Kumar, *et al.*, 2016). Este incremento se debe a que se ha podido demostrar que se puede contribuir sustancialmente a favor de la solución de este problema, no solo basándose en criterios ecológicos, sino también por motivo de la estructura descentralizada de las energías renovables (Giraudi, 2014; Gómez, 2015).

En la producción agrícola la falta de humedad en el suelo afecta negativamente al cultivo y, por lo tanto, a su rendimiento. Si el contenido de agua en la parcela es bajo, se debe reponer para que las plantas las puedan absorber con facilidad. Esta reposición se realiza mediante el riego. Existen distintos métodos de riego, cada uno con ventajas y desventajas (Ortiz *et al.*, 2009). Lo más importante es lograr que el sistema de riego sea lo más eficiente posible para que quede más agua a disposición del cultivo, la elección del sistema a aplicar dependerá de cada situación particular (Fernández, 2010; Demin, 2014).

La energía eólica es la fuente renovable de energía que ha demostrado cierta superioridad en comparación con las fuentes de energía tradicionales; además se reconoce como una de las energías renovables más preciada, limpia, abundante, barata, inagotable y que es parte del medio ambiente (Chang, 2011). El uso energético del viento ha sido ampliamente estudiado en Cuba; pudiéndose demostrar sus bondades como tecnología energética eficiente y eficaz para el abasto de agua a la



ganadería, el riego a pequeñas parcelas y el suministro de agua potable a las comunidades (Montesinos, 2007).

El aporte de los biocombustibles líquidos como energía renovable, debe verse conjuntamente con otras fuentes renovables de energías e incorporarlo a la matriz energética de cada país en su justa medida. No se puede obviar dos aspectos importantes; primero la necesidad de resolver los problemas ambientales de los biocombustibles y segundo su utilización no sustituye a los combustibles fósiles (Steenblik, 2007; Ley *et al.*, 2009).

El material vegetal utilizado fue el ajo, cultivar “Criollo” el cual se siembra de forma tradicional por campesinos de la zona. Se empleó el 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. El uso de la técnica de riego por aspersión en este cultivo del ajo se explica en investigaciones realizadas por Hanson *et al.* (2003), y Prato (2016).

La investigación se inserta en el Proyecto “Metodología para la utilización de fuentes de energías renovables en actividades industriales, agrícolas y abasto de agua en comunidades rurales de las provincias de Ciego de Ávila y Sancti Spiritus” con fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales bajo el código PN211LH005-025.

Se propone como objetivo del artículo determinar los efectos de la humedad, ahorro energético y rendimiento en el cultivo del ajo con el sistema de riego por aspersión al mínimo costo posible.

### **Materiales y Métodos**

La investigación se realizó en la finca "La Cuchilla", localizada en la comunidad de Sabicú 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.

### **Sistema de riego instalado**



El sistema de riego es accionado con energía eólica a través de un molino multipala con altura de la torre de 10 m. Para el diseño del molino de viento se partió de los siguientes datos iniciales adoptado según la experiencia de los productores y criterios técnicos establecidos para este tipo de dispositivo: relación de velocidades ( $\lambda$ ) de 1 (Fernández, 2000); diámetro del rotor ( $D_{rot}$ ) de 2,52 m; coeficiente de sustentación (CS) de 1,80; coeficiente de arrastre (CA) de 0,03 y ángulo de ataque ( $\alpha$ ) de 5.

La potencia útil del molino multipala se determinó según (Galán *et al.*, 2015) en función de la disponibilidad de recursos eólicos y el área del rotor en la ecuación como se muestra en la Figura 1:

Figura 1

*Potencia útil del molino multipala*

$$P_u = 0,5 \cdot \rho_a \cdot A_{rot} \cdot v_m^3 \cdot C_p$$

Donde:

$P_u$ : Potencia útil del molino multipala (W),  $\rho_a$ : Densidad del aire en el lugar del emplazamiento ( $\text{kg m}^3$ ),  $A_{rot}$ : Área del rotor ( $\text{m}^2$ ),  $v_m$ : Velocidad promedio del viento de la localidad ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $C_p$ : Coeficiente de potencia.

El caudal real que aporta el molino de viento se estimó a partir de la eficiencia volumétrica y el caudal teórico. Este último estuvo en función del área del pistón de la bomba, el desplazamiento del émbolo del pistón y la velocidad de rotación del rotor. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes (ver figura 2):

Figura 2

*Caudal real*

$$Q_r = Q_t \cdot \eta_{vol}$$

Donde:

$Q_t$ : Caudal teórico ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ),  $Q_r$ : Caudal real ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ),  $A_{pis}$ : Área del pistón de la bomba ( $\text{m}^2$ ),  $n_{vol}$ : Rendimiento de la bomba volumétrica,  $S$ : Desplazamiento del émbolo del pistón (m),  $n$ : Velocidad de rotación del rotor (rpm).

Cite este artículo como:

Mendez Jurjo, N., Junco Davis, P.A., Corrales Rojo, A., González Rivero, I. y Martín Domínguez, A. (2025). Efectos de humedad, rendimiento y ahorro energético con bombeo eólico en el riego por aspersión. *Universidad & ciencia*, 14(1), 159-173.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8645>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14968783>



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 se obtuvo acorde con Pacheco *et al.* (1995). Con estos parámetros se determinó el diámetro económico de la tubería conductora mediante la ecuación de Bresse (Mancebo, 1995; Franquet, 2017).

El cálculo de las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por consumo de electricidad, se determinó mediante un factor de emisión eléctrico que considera la generación de las centrales eléctricas que entregan energía a la red eléctrica nacional. La ecuación utilizada se muestra en la Figura 3:

### Figura 3

*Emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por consumo de electricidad.*

$$CO_2e = \left( \frac{F_{ee} \cdot C_{eB}}{1000 \text{ kWh}} \right)$$

Donde:

$CO_2e$ : Cantidad de  $CO_2$  equivalente que se deja de emitir a la atmosfera (t),  $F_{ee}$ : Factor de emisión eléctrico (0,494 t $CO_2e$  MWh<sup>-1</sup>),  $C_{eB}$ : Consumo de energía de la bomba (kWh).

## Resultados y Discusión

Los resultados muestran para estas condiciones de velocidades del viento incidente la potencia útil de la aerobomba se incrementa según los valores de revoluciones del rotor eólico que oscilan entre 18,95 y 90,95 rpm, con un coeficiente de potencia de 0,22 acorde con las condiciones climatológicas del lugar y las características específicas del molino de viento diseñado, lo cual es comparable con los resultados expuestos por (Fleming y Probert, 1982).

En la Tabla 1 se muestran los resultados de caudales, potencia hidráulica y potencia útil en el molino de viento diseñado. Se observa que el caudal teórico y real de la bomba volumétrica varía proporcionalmente con la velocidad del viento incidente y por consiguiente con la velocidad de giro de la biela de la bomba y la velocidad de giro del rotor.

Cite este artículo como:

Mendez Jurjo, N., Junco Davis, P.A., Corrales Rojo, A., González Rivero, I. y Martín Domínguez, A. (2025). Efectos de humedad, rendimiento y ahorro energético con bombeo eólico en el riego por aspersión. *Universidad & ciencia*, 14(1), 159-173.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8645>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14968783>



**Tabla 1**

*Caudales, potencia hidráulica y potencia útil del molino de viento*

$v$ (m s <sup>-1</sup> )	$Q_t$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	$Q_r$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	$Q_r$ (L s <sup>-1</sup> )	Ph (W)	Pu (W)
2,5	0,00010	0,00008	0,08	4,65	10,14
3,0	0,00011	0,00009	0,09	5,58	17,53
4,0	0,00015	0,00012	0,12	7,44	41,55
5,0	0,00019	0,00015	0,15	9,31	81,14
6,0	0,00023	0,00018	0,18	11,17	140,22
7,0	0,00027	0,00021	0,21	13,03	222,66

La comparación entre el caudal real y el caudal teórico da como resultado que el caudal real siempre será menor al caudal teórico (Carrión *et al.*, 2017); por lo que debe existir un coeficiente de descarga ( $C_d$ ) que relacione ambas variables. En este caso el coeficiente de descarga es menor que la unidad y alcanza valores entre 0,79 y 0,82.

En la tabla 2 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 mm; sin embargo, la que puede ser aprovechable por el cultivo es de 61,67 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 tabla 2 que, en el ciclo vegetativo del cultivo, las necesidades netas son de 252,42 mm; mientras que la evapotranspiración del cultivo es de 314,09 mm, obteniéndose un balance hídrico negativo de 61,67 mm que se requiere reponer mediante la irrigación con la aplicación de una lámina neta media de 10,49 mm y una lámina bruta media de 14,98 mm en un intervalo de riego que varía en cada mes desde 4 días a 20 días con un valor medio de nueve días

**Tabla 2**

*Parámetros agronómicos y caudal de la conductora*

Parámetros	Días del mes,	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Total	Media
------------	---------------	------	------	------	------	-------	-------

Cite este artículo como:

Mendez Jurjo, N., Junco Davis, P.A., Corrales Rojo, A., González Rivero, I. y Martín Domínguez, A. (2025). Efectos de humedad, rendimiento y ahorro energético con bombeo eólico en el riego por aspersión. *Universidad & ciencia*, 14(1), 159-173.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8645>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14968783>



dm (días).	31	31	28	31	90	
Precipitación, (mm).	43,5	30,1	42,2	53,7	169,46	42,36
Precipitación efectiva (mm).	16,1	8,0	15,3	22,2	61,67	15,42
Evapotranspiración referencial (mm).	76,6	83,8	103,3	139,1	402,76	100,69
Coeficiente del cultivo (adim).	0,45	0,62	1,10	0,82	2,99	0,75
Evapotranspiración del cultivo (mm).	34,5	51,9	113,6	114,1	314,09	78,52
Lámina neta de riego (mm).	6,71	11,75	11,75	11,75	41,95	10,49
Lámina bruta de riego (mm).	9,59	16,78	16,78	16,78	59,93	14,98
Necesidades netas (mm).	18,4	43,9	98,3	91,9	252,42	63,11
Necesidades brutas ( $m^3 ha^{-1}$ ).	262,6	627,0	1404,1	1312,3	3606,02	901,50
Intervalo de riego (días).	20	8	3	4	35,41	9
Días de riego (días).	16	7	3	3	28,33	7
Hidromódulo bruto, $q_b$ ( $L s^{-1} ha^{-1}$ ).	0,19	1,09	6,07	4,79	12,15	3,04
Caudal de la conductora, $Q_c$ ( $m^3 h^{-1}$ ).	0,06	0,37	2,03	1,61	4,07	1,02
Precipitación, (mm).	43,5	30,1	42,2	53,7	169,46	42,36

Las necesidades brutas totales del cultivo del ajo son de  $3606,02 m^3 ha^{-1}$ , que referidas a  $0,093 ha$  que es el área que riega el sistema de riego, permite aportar un volumen de agua de  $335,72 m^3$  en todo el ciclo vegetativo del cultivo. El hidromódulo obtenido osciló 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 promedio que circula por la tubería conductora es de  $1,02 m^3 h^{-1}$ , lo cual será precisado en los cálculos hidráulicos posteriores.

### Rendimiento del cultivo

La masa del bulbo es un parámetro de calidad que está directamente relacionado con el nivel de productividad ya que en dependencia de su comportamiento se tendrán mayores o menores rendimientos (Macías *et al.*, 2010). Investigaciones realizadas en México por este autor con diferentes variedades de ajo obtuvo valores de masa del bulbo entre  $43 g$  y  $58 g$ ; sobresaliendo las variedades INIFAP 94 y Tacatzcuaro.

Respecto al diámetro del bulbo, es necesario considerar que es un indicador que influye directamente en la calidad del producto para la comercialización, el

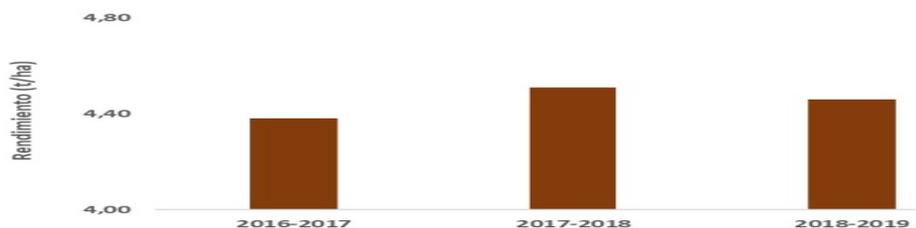
consumo alimento y la utilización como material de propagación (Castellanos *et al.*, 2004; Diriba *et al.*, 2014)

Otros autores como García *et al.* (2014) informaron rendimientos superiores de  $6,41 \text{ t ha}^{-1}$ , con el tratamiento combinado de FitoMas E® +  $300 \text{ kg de N ha}^{-1}$ . En la zona sur de Las Tunas se obtuvieron rendimientos superiores a las  $5 \text{ t ha}^{-1}$  con el uso de diferentes estimulantes del crecimiento vegetal y en Sancti Spíritus se llegó alcanzar  $6,81 \text{ t ha}^{-1}$  con la aplicación de *Azospirillum brasilense* (González y Rodríguez, 2003).

En la Figura 4 se observa que en las tres campañas evaluadas el rendimiento del cultivo alcanzó valores de  $4,38 \text{ t ha}^{-1}$ ;  $4,51 \text{ t ha}^{-1}$  y  $4,46 \text{ t ha}^{-1}$ , en los años 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019 respectivamente, con un promedio de  $4,45 \text{ t ha}^{-1}$ . Estos rendimientos fueron superiores a la media informada en Cuba por Izquierdo y Gómez (2005); así como Izquierdo y Gómez (2007), que es de  $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ .

#### Figura 4

*Rendimiento agrícola del cultivo*



La utilización del molino multipala para el bombeo de agua en lugar de una motobomba de la marca LEPONO, muy utilizada por los campesinos de la región, con un caudal de  $60 \text{ L min}^{-1}$ , carga máxima de 70 m, velocidad de giro de 3400 rpm, intensidad de la corriente que consume el motor de 11 A y tensión del motor que alimenta la bomba de 110 V, permitió un ahorro energético de 27,66 kWh, lo que representa una cantidad de 146,77 kg de  $\text{CO}_2$  equivalente por hectárea, que se dejó de emitir a la atmósfera.

#### Conclusiones



Se determinaron los efectos de la humedad, ahorro energético y rendimiento en el cultivo del ajo con el sistema de riego por aspersión al mínimo costo posible, donde se obtuvo que el caudal teórico y real de la bomba volumétrica varía proporcionalmente con la velocidad del viento incidente, la precipitación total en ese periodo es de 169,46 mm, se observa que a partir del régimen de precipitaciones de la localidad; sin embargo, la que puede ser aprovechable por el cultivo es de 61,67 mm para un coeficiente de aprovechamiento de la lluvia de 0,36. además en las tres campañas evaluadas el rendimiento del cultivo alcanzó valores de 4,38 t ha<sup>-1</sup>; 4,51 t ha<sup>-1</sup> y 4,46 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, con un promedio de 4,45 t ha<sup>-1</sup>.

### Referencias Bibliográficas

- Ahuja, D. (2008). PeoplePower. *Nature*, 456, 25.  
<http://www.nature.com/nature/journal/v456/n1s/full/twas08.25a.html>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO, Riego y Drenaje, N° de serie 56*. Roma, Italia: Editorial FAO.
- Cabezas, M. D., Franco, J. I. y Fasoli, H. J. (2018). Diseño y evaluación de un panel solar fotovoltaico y térmico para poblaciones dispersas en regiones de gran amplitud térmica. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 19(2), 209-221.
- Carrión, S., Daza, P., Quilli, A., Sánchez, G. y Tapia, C. (2017). *Análisis del Caudal Real vs Teórico por medio del Medidor Venturi*.  
[https://www.researchgate.net/publication/321171662\\_Analisis\\_del\\_Caudal\\_Real\\_vs\\_Teorico\\_por\\_medio\\_del\\_Medidor\\_Venturi/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/321171662_Analisis_del_Caudal_Real_vs_Teorico_por_medio_del_Medidor_Venturi/citation/download)
- Castellanos, J. Z., Vargas, T. P., Ojodeagua, J. L., Hoyos, G., Alcantar, G. G., Méndez, F. S., Álvarez, S. E., y Gardea, A. A. (2004). Garlic Productivity and Profitability as Affected by Seed Clove Size, Planting Density and Planting Method. *HortScience*, 39(6), 1272-1277.
- Chang, T. P. (2011). Estimation of wind energy potential using different probability density functions. *Appl Energy*, 88(5), 1848-1856.



- Demin, P. E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones*. Catamarca, Argentina: Editorial INTA.
- Diriba, G., Nigussie, R., Woldetsadik, K., Getachew, T. y Sharma, J. J. (2014). Bulb quality of garlic (*Allium sativum* L.) as influenced by the application of inorganic fertilizers. *African Journal of Agricultural Research*, 9(8), 784-796.
- Erisman, J., Brasseur, G., Ciais, P., Van Eekeren, N. y Theis, T. (2015). Global change: Put people at the centre of global risk management. *Nature*, 519, 151-153.
- FAO. (2008). *Bosques y energías. Cuestiones claves*. Roma, Italia: Editorial Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación
- Fernández, P. (2000). *Antecedentes Históricos y fuentes eólicas*. Cantabria, España: Editorial de la Universidad de Cantabria.
- Fernández, R. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 3. Riego por aspersión*. Editorial Consejería de Agricultura y Pesca.
- Fleming, P. D. y Probert, S. D. (1982). Design and performance of a small shrouded Cretan windwheel. *Applied Energy*, 10, 121-139.
- Franquet, J. M. (2017). *Diseño económico de tuberías. Diámetro óptimo en impulsiones*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Tortosa, España: Editorial Universidad Nacional de Educación a Distancia.  
[https://www2.uned.es/ca-tortosa/Biblioteca\\_Digital/Biblio/JM\\_Franquet/](https://www2.uned.es/ca-tortosa/Biblioteca_Digital/Biblio/JM_Franquet/)
- Galán, N., Orozco, E., Mejías, N. y Mellado, C. (2015). Análisis Estadístico de la Velocidad del Viento en Mazatlán Sinaloa. *Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico*, 2(4), 288-294.
- García, E. (2013). *World Energy Insight*. World Energy Council, First, London.  
<http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/>
- García, M., Montoya, C. A., Barroso, C. L., Pérez, C. A. y Reyes, B. (2014). Reducción de la fertilización nitrogenada en el cultivo del ajo. *Revista Hombre, Ciencia y Tecnología*, 18(1), 58-67.



- Giraudi, C. M. (2014). Factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a red. *Ingeniería Energética*, 35(2), 141-148.  
<https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/370180>
- Gómez, L. (2015). Análisis de la viabilidad técnica y financiera de la generación de energía eléctrica a partir del recurso eólico en el municipio de Pereira. [Tesis de Maestría, Universidad EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia].
- González, R. L. y Rodríguez, N. I. (2003). Influencia de la aplicación de Azospirillum en el crecimiento y desarrollo del cultivo del ajo (*Allium sativum* L.). *Revista Centro Agrícola*, 30(2), 111-117.
- Hanson, B., May, D., Voss, R., Cantwell, M. y Rice, R. (2003). Response of garlic to irrigation water. *Agric. Water Manage*, 58, 29-43.
- Hauser, O., Rand, D., Peysakhovich, A. y Nowak, M. (2014). Cooperating with the future. *Nature*, 511, 220-223.
- Izquierdo, H., y Gómez, O. (2005). Martínez» un clon de ajo (*Allium sativum*, L.) de alta calidad fitosanitaria y buen potencial de rendimiento. *Revista Cultivos Tropicales*, 26(2), 42-53.
- Izquierdo, H., y Gómez, O. (2007). Vietnamita, un clon de ajo (*Allium sativum* L.) de alta calidad fitosanitaria y buen potencial de rendimiento. *Revista Cultivos Tropicales*, 28(1), 66-75.
- Kumar, Y., Jordan, R., Soma, S., Vijay, K. D., Jin, L., Efstratios, N., Brett, A. y Abdollah, A. (2016). Wind Energy: Trends and enabling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 209-224.
- Ley, N., González, E. y Mesa, L. (2009). Las premisas para asimilar nuevas tecnologías de procesos químicos a partir de estudio de laboratorios en etapas de pretratamiento e hidrólisis de materiales lignocelulósicos. *Tecnología Química*, 29(3), 25-36.
- Macías, R., Grijalva, R. L. y Robles, F. (2010). Productividad y calidad de variedades de ajo (*Allium sativum* L.) bajo condiciones desérticas en Caborca, Sonora. *Revista BIOtecnia*, 12(1), 44-54.



- Mancebo, U. (1995). Cálculo del diámetro más de la tubería de descarga de una planta de bombeo. Diámetro óptimo en impulsiones. Nota técnica. *Revista Ingeniería Hidráulica en México*, 10(1), 49-53.
- Meier, T. (2014). Innovative business models and financing mechanisms for PV deployment in emerging regions. International Energy Agency-Photovoltaic Power System Programme (IEA PVPS), IEA PVPS Task 9, Subtask 5 Report IEA-PVPS T9-14. <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=311>
- Montesinos, A. (2007). Historia de la energía eólica en Cuba, *Revista Energía y Tú*, (37), 9-17. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/>
- Moreno, Z. (2017). *Sistema de aspersión solar para el desarrollo de policultivos en zonas de potencial hídrico*. <https://www.researchgate.net/publication/316911482>
- Ortiz, J. E., Valencia, P. F., Valdez, B. y Padilla, I. (2009). *Maíz de otoño-invierno en riego por aspersión tipo avance frontal, en el sur de Sonora*. Editorial Centro de Investigación Regional del Noroeste- Campo Experimental Valle del Yaqui.
- Pacheco, J., Alonso, N., Pujol, P. y Camejo, E. (1995). *Riego y Drenaje*. Editorial Pueblo y Educación.
- Pillai, I. y Banerjee, R. (2009). Renewable energy in India: Status and potential. *Energy*, 34(8), 970-980.
- Prato, A. I. (2016). 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.
- Robles, C. y Rodríguez, O. (2018). Un panorama de las energías renovables en el mundo. *Revista Espacios, Latinoamérica y Colombia* 39(34), 10-24.
- Steenblik, R. (2007). *Biofuels – at what cost? Government support for ethanol and biodiesel in selected OECD countries*. Ginebra, Suiza: Editorial del Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible.
- Yan, J., Chou, S., Desideri, U. y Xia, X. (2014). Innovative and sustainable solutions of clean energy technologies and policies (Part I). *Applied Energy*, 130, 447-449.



## Conflicto de interés

Los autores no declaran conflictos de intereses.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de los contenidos y no realice modificación de la misma.

Cite este artículo como:

Mendez Jurjo, N., Junco Davis, P.A., Corrales Rojo, A., González Rivero, I. y Martín Domínguez, A. (2025). Efectos de humedad, rendimiento y ahorro energético con bombeo eólico en el riego por aspersión. *Universidad & ciencia*, 14(1), 159-173.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8645>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14968783>