

Modelo teórico experimental para el mejoramiento del manejo de máquinas de pivote central eléctricas



<https://cu-id.com/2177/v32n4e03>

Experimental Theoretical Model for Improving the Management of Electrical Center Pivot Machines

^①Rider Riveras-Hernandez^{1*}, ^②Dafne Ortigas-Borroto¹, ^③Oscar Brown-Manrique¹,
^④Lorenzo Eddy Camejo-Barreiro¹, ^⑤Julio César Quintana-Zaez¹, ^⑥Maiquel Lopez-Silva^{II}

¹Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Ciego de Ávila, Provincia Ciego de Ávila, Cuba.

^{II}Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

RESUMEN: La regresión polinómica es una herramienta útil para la modelación de problemas relacionados con la predicción de presiones a lo largo de una tubería con salidas múltiples en sistemas de riego presurizado. La característica fundamental de este modelo es su simplicidad para pronosticar datos de presión en una tubería de riego y extender el número de observaciones. En la investigación se desarrollaron modelos en los que se relacionó la presión a lo largo de la tubería con diferentes variables independientes como el caudal en cada salida y la sumatoria de los espaciamientos entre salidas desde el inicio de la tubería. La validación del modelo se realizó a partir de datos utilizados para la estimación y el pronóstico, mediante el coeficiente de determinación (R^2) que es un indicador recomendado para medir la fiabilidad del modelo y el error porcentual medio ampliamente utilizado para medir el desempeño del modelo. Como caso de estudio se utilizó un sistema de riego de pivote central eléctrico en el cultivo de la caña de azúcar, donde el modelo más apropiado fue del tipo polinómico de segundo orden y decreciente, el cual logró una excelente aproximación al comportamiento real de los datos, con un R^2 de 0,9972 y un error porcentual medio inferior al 12%.

Palabras clave: regresión polinómica, tuberías de múltiples salidas, sistemas de riego presurizados.

ABSTRACT: Polynomial regression is a useful tool for modeling problems related to the prediction of pressures along a pipeline with multiple outlets in pressurized irrigation systems. The fundamental characteristic of this model is its simplicity to forecast pressure data in an irrigation pipe and extend the number of observations. In the investigation, models were developed in which the pressure along the pipeline was related to different independent variables such as the flow at each outlet and the sum of the spacing between outlets from the beginning of the pipeline. The validation of the model was carried out from data used for estimation and forecasting, using the coefficient of determination (R^2) which is a recommended indicator to measure the reliability of the model and the mean percentage error widely used to measure the performance of the model. As a case study, an electric central pivot irrigation system was used in the cultivation of sugarcane, where the most appropriate model was the second-order and decreasing polynomial type, which achieved an excellent approximation to the real behavior of the data, with an R^2 of 0.9972 and an average percentage error of less than 12%.

Keywords: Polynomial Regression, Multiple Outlet Pipes, Pressurized Irrigation Systems.

*Author for correspondence: Rider Riveras-Hernaandez, e-mail: rider@unica.cu

Recibido: 20/04/2023

Aceptado: 01/09/2023

INTRODUCCIÓN

Los crecientes niveles de competitividad en el mercado agrícola actual han motivado la imperiosa necesidad de optimizar los recursos empleados en los sistemas productivos como es el caso del agua utilizada en la agricultura según [Pérez-Armas et al. \(2020\)](#) que es el usuario que consume el 85% del agua en el planeta. Como una medida para atenuar esta problemática se han desarrollado diferentes sistemas para su ahorro, sustentado en su mejor aprovechamiento y la utilización de tecnologías más eficientes; pues la escasez de agua y el inadecuado empleo de los sistemas de riego generan mayores costos de producción a los agricultores ([Guijarro-Rodríguez et al., 2018](#); [Barrezueta-Unda et al., 2020](#)).

La técnica de riego presurizado tiene un gran impacto en el uso racional del agua, debido a los insumos que se emplean y su adecuado funcionamiento, que permite reducir la cantidad de agua utilizada lo que significa una contribución a la optimización del consumo de agua sin provocar estrés hídrico en los cultivos ([Meneses-Rojas y Sulca-Castilla, 2020](#)).

En los sistemas de riego presurizado el agua se conduce a través de tuberías con cierta presión para que pueda llegar a las plantas por medio de los emisores que pueden ser goteros, aspersores, micro aspersores, etc. Estos dispositivos permiten además la aplicación de fertilizantes con el agua de riego con una elevada eficiencia de aplicación de agua en dependencia del tipo de emisor ([Calejo et al., 2008](#); [Attia et al., 2019](#)).

Entre los sistemas de riego presurizados más utilizados en el mundo se encuentran las máquinas de pivote central eléctricas las cuales permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas de riego como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico ([Pérez-Armas et al., 2020](#)).

El diseño adecuado de los sistemas de riego presurizado está estrechamente relacionado con el correcto funcionamiento y la alta eficiencia en el uso del agua ([Del Río-San José et al., 2019](#)). Los laterales de estos sistemas frecuentemente están compuestos por tuberías de múltiples salidas, lo que hace más complejo el diseño hidráulico de dichas tuberías ([González-Quirino et al., 2021](#)).

La hidráulica de las tuberías que distribuyen el caudal de los sistemas de riego presurizados es un asunto que no ha sido aun suficientemente resuelto debido a que es un problema complejo por tratarse de procesos altamente no lineales e involucra a diversos parámetros y principios físicos como la conservación de la materia y la energía en fluidos en movimiento ([Riveras y Mujica-Cervantes, 2012](#); [Alegret y Martínez, 2019](#)).

Para la obtención experimental de variables de diseño y manejo de sistemas de irrigación pueden utilizarse modelos de regresión, los cuales se han convertido en una herramienta esencial para el manejo integral del recurso hídrico y del medio ambiente, la predicción espacial de la precipitación en cuencas hidrográficas y el diseño y manejo de sistemas de riego agrícola. Una vez calibrados en las condiciones específicas en que fueron desarrollados, se convierten en una alternativa valiosa aplicables a los sistemas de riego presurizados y por gravedad ([Álvarez-Sevilla et al., 2021](#)). Estos modelos son aplicables en la modelación de problemas relacionados con el pronóstico de parámetros en sistemas de riego debido a su simplicidad y capacidad para pronosticar las variables involucradas.

Teniendo en cuenta los aspectos expresado anteriormente, el objetivo del trabajo consiste en desarrollar un modelo matemático teórico experimental que permita el mejoramiento del manejo de máquinas de pivote central eléctricas las cuales presentan una tubería distribuidora dotada de múltiples salidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Cooperativa de Producción Agropecuaria Revolución de Etiopia ubicada en la coordenada 21°50'20"N y 78°39'06"W, Carretera Morón, a dos kilómetros del poblado de Santana. En esta cooperativa funcionan actualmente siete máquinas de pivote central eléctricas que riegan un área de $5,65 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ ([Figura 1](#)).



FIGURA 1. Ubicación de la máquina de pivote central eléctrica.

La máquina de pivote central eléctrica evaluada es de la marca BAYATUSA-WESTERN instalada para el riego de la caña de azúcar y presenta la característica siguiente: presión de trabajo de 250 kPa, tubería de

riego de zinc galvanizado, longitud total del lateral de 502 m, diámetro del lateral de 168,3 mm, diámetro del pivot es de 200 mm, nueve torres de 55 m. Cada tramo tiene 19 aspersores excepto el primero que cuenta con 14 aspersores. La máquina tiene un total de 166 aspersores de diferentes diámetros del tipo *Spray* espaciados a 3 m (Tabla 1 y Figura 2).

TABLA 1. Características técnicas de la máquina de pivote central eléctrica

Marca	BAYATUSA-WESTERN
Presión de trabajo	250 kPa
Tubería de riego	Zinc galvanizado
Longitud total del lateral	502 m
Diámetro del lateral	168,3 mm
Diámetro del pivot	200 mm
Número de torres	9
Número total de aspersores	166



FIGURA 2. Máquina de pivote central eléctrica BAYATUSA-WESTERN.

El experimento comenzó con el traslado de la máquina de riego hacia el camino que separa los campos cultivados con una velocidad de $2,57 \text{ m min}^{-1}$ en la última torre. La presión de trabajo promedio durante la prueba fue de 250 kPa. El proceso experimental se basó en la medición de la velocidad del viento con un anemómetro integral de cazoletas calibrado de la marca FOCT 7193-74 M/C y precisión de $\pm 0,10 \text{ m s}^{-1}$, la presión en el manómetro metálico de Bourdon de la marca DeWit con presión de 60,0 psi (413,7 kPa) y precisión de 0,90 psi (20 kPa) colocado en el pivot y el caudal en todos los aspersores mediante el método de aforo volumétrico según Cisneros-Zayas *et al.* (2019); Catalán-López (2022) a partir del cual se captó el volumen descargado en un recipiente de 10 L en un tiempo determinado. Los instrumentos de medición utilizados fueron una probeta graduada de 500 mL con precisión de un mililitro y un cronómetro digital Timer & Counter con precisión hasta los segundos (Figura 3).

Como resultados del experimento se desarrollaron diferentes modelos estadísticos matemáticos para



FIGURA 3. Aforo volumétrico de los aspersores.

relacionar la presión a lo largo de la tubería con diferentes variables independientes como el caudal en cada salida y la sumatoria de los espaciamientos entre salidas desde el inicio de la tubería. La validación del modelo se realizó a partir de datos utilizados para la estimación y el pronóstico, mediante el coeficiente de determinación (R^2) que es un indicador recomendado para medir la fiabilidad del modelo y el error porcentual medio (E_{pm}) ampliamente utilizado para medir el desempeño del modelo; este se estimó mediante la ecuación siguiente: El modelo se acepta cuando $e | E_{pm} \leq 20\%$

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Desarrollo del modelo teórico experimental para estimar la presión en las salidas del lateral

El procedimiento para el desarrollo del modelo teórico experimental fue desarrollado con el propósito de estimar la presión en cada salida de la tubería de riego en la máquina de pivote central eléctrica y se implementó de forma progresiva, segmento a segmento desde el manómetro al inicio del sistema hasta el final del lateral. En este nuevo procedimiento se tuvieron en cuenta los principios físicos de conservación de la masa y conservación de la energía.

El principio de conservación de la masa se aplicó en esta investigación para la cuantificación del caudal a la entrada del lateral y su variación a lo largo de la línea regante, teniendo en cuenta que el caudal que entra por un extremo de la tubería tiene que ser igual al caudal que sale según Riaño-Valle (2021); lo que constituye el punto de partida del modelo propuesto para el mejoramiento del manejo de máquinas de pivote central eléctricas y se expresa mediante la ecuación de continuidad.

El principio de conservación de la energía se utilizó mediante el balance energético aplicado primeramente entre la altura del manómetro colocado en el pivote y

el codo giratorio; posteriormente entre este punto y todas las salidas a lo largo de la tubería de riego. Este principio se materializó a través de la ecuación de Bernoulli el cual establece una relación inversa entre la energía que circula por el conducto y la velocidad (Vega-Calderón *et al.*, 2017).

El caudal a la entrada del lateral de la máquina de pivote se determinó mediante la suma de los caudales descargado por cada aspersor a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^N q_i \quad (1)$$

Donde Q_0 es el caudal total del lateral ($L s^{-1}$); q_i el caudal que sale por cada aspersor ($L s^{-1}$); N el número total de salida del lateral; i el índice que expresa la cantidad de emisores evaluados ($i = 1, 2, \dots, 166$).

El caudal total del lateral a medida que circula por cada tramo de la tubería va disminuyendo por el efecto combinado de la pérdida de energía y la derivación del caudal q_i en cada salida; como se expresa en la siguiente ecuación:

$$Q_i = Q_{i-1} - q_i \quad (2)$$

Donde Q_i es el caudal de circulación por cada tramo ($L s^{-1}$); Q_{i-1} es el caudal de circulación en el tramo anterior ($L s^{-1}$); q_i el caudal que sale por cada aspersor ($L s^{-1}$); i el índice que expresa la cantidad de emisores evaluados ($i = 1, 2, \dots, 166$).

Para el cálculo de la presión en el primer tramo entre el punto ubicado en el manómetro del pivote (M) y el punto colocado en el codo giratorio (C), donde comienza el inicio del lateral de la máquina de pivote, se expone la ecuación de Bernoulli, la cual está dada por:

$$\frac{P_M}{\gamma} + \frac{v_M^2}{2g} + Z_M = \frac{P_C}{\gamma} + \frac{v_C^2}{2g} + Z_C + \sum h_{M-C} \quad (3)$$

Donde P_M es el valor de la presión registrada en el manómetro colocado en el pivote ($kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$); v_M la velocidad en el primer tramo ($m \cdot s^{-1}$); Z_M la altura del manómetro considerada cero por ser el punto por donde se traza el nivel de referencia para el balance de energía (m); $\sum h$ la sumatoria de las pérdidas de carga por fricción y localizadas (m); γ el peso específico del agua ($kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-2}$); g la aceleración de la gravedad ($m \cdot s^{-2}$).

Para el cálculo de la carga de presión en el punto C se despejó este término en la ecuación (5), considerando que se trata de una tubería sin derivaciones; por lo que el caudal es constante en toda la longitud del tramo analizado. En este primer tramo las velocidades se simplifican; por lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{P_C}{\gamma} = \frac{P_M}{\gamma} + Z_M - Z_C - \sum h_{M-C} \quad (4)$$

A partir de la primera salida del lateral, el diámetro se mantiene constante; pero el caudal varía debido a que se trata de una tubería de múltiples salidas; por tanto, se debe tener en cuenta la velocidad en el

análisis de cada tramo. En todos los casos la velocidad del fluido se calculó por el método de la velocidad económica a través de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (5)$$

Donde v es la velocidad del flujo; Q el caudal total del lateral ($m^3 s^{-1}$); D el diámetro del lateral (m).

Para el cálculo de la carga de presión en cada salida se utiliza ecuación siguiente:

$$\frac{P_i}{\gamma} = \frac{P_{i-1}}{\gamma} + \frac{v_{i-1}^2}{2g} + Z_{i-1} - \frac{v_i^2}{2g} - Z_i - \sum h_{(i-1)-i} \quad (6)$$

Donde P_i es el valor de la presión en cada salida del lateral ($kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$); v_{i-1} la velocidad del flujo en el tramo anterior ($m \cdot s^{-1}$); Z_{i-1} la altura de la tubería en la salida anterior sobre el nivel de referencia (m); v_i la velocidad del flujo en el tramo actual ($m \cdot s^{-1}$); Z_i la altura de la tubería en la salida actual sobre el nivel de referencia (m); $\sum h_{(i-1)-i}$ la sumatoria de las pérdidas de carga por fricción y localizadas entre las dos salidas analizadas (m); γ el peso específico del agua ($kg m^{-2} s^{-2}$); g la aceleración de la gravedad ($m \cdot s^{-2}$).

Sustituyendo la ecuación (7) en la (8) se logra que la ecuación quede sólo en función del caudal.

$$\frac{P_i}{\gamma} = \frac{P_{i-1}}{\gamma} + \frac{\left(\frac{4 \cdot Q_{i-1}}{\pi \cdot D_{i-1}^2}\right)^2}{2g} + Z_{i-1} - \frac{\left(\frac{4 \cdot Q_i}{\pi \cdot D_i^2}\right)^2}{2g} - Z_i - \sum h_{(i-1)-i} \quad (7)$$

Simplificando la ecuación anterior se obtiene:

$$\frac{P_i}{\gamma} = \frac{P_{i-1}}{\gamma} + \frac{8Q_{i-1}^2}{\pi^2 \cdot D_{i-1}^4 \cdot g} + Z_{i-1} - \frac{8Q_i^2}{\pi^2 \cdot D_i^4 \cdot g} - Z_i - \sum h_{(i-1)-i} \quad (8)$$

Sacando factor común, se obtiene la expresión siguiente:

$$\frac{P_i}{\gamma} = \frac{P_{i-1}}{\gamma} + \frac{8}{\pi^2 \cdot g} \left(\frac{Q_{i-1}^2}{D_{i-1}^4} - \frac{Q_i^2}{D_i^4} \right) + Z_{i-1} - Z_i - \sum h_{(i-1)-i} \quad (9)$$

La expresión anterior es la ecuación general para la estimación de las presiones en todas las salidas de la tubería lateral de una máquina de pivote central eléctrica. Esta formulación analítica se desarrolló tramo a tramo desde el inicio de la tubería hasta el final. Para aplicar esta ecuación es necesario conocer las pérdidas de carga por cada tramo entre salidas, la cual se determinan por la ecuación de Darcy-Weisbach,

El cálculo del factor de fricción se realizó mediante la ecuación de Swamee-Jain según Caparicona-Marca (2020) en caso que el flujo fuera turbulento. Cundo el

flujo fuera laminar, se utilizó la ecuación de Poiseuille (Ladino-Moreno et al., 2019).

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{NR_i^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (10)$$

$$f_i = \frac{64}{NR_i} \quad (11)$$

Donde ε es la rugosidad absoluta (m); D el diámetro de la tubería lateral (m); NR_i el número de Reynolds en cada tramo (adimensional).

Desarrollo del modelo estadístico de regresión

La ecuación general para la estimación de las presiones en todas las salidas de la tubería lateral, se aplicó en la máquina de pivote central eléctrica de la marca BAYATUSA-WESTERN instalada para el riego de la caña de azúcar, Obteniéndose diferentes modelos de tipo exponencial y polinómicos que se muestran a continuación.

En la **Figura 4** se muestra la curva que relaciona las presiones en cada salida de la tubería lateral con del caudal de cada salida, la cual se ajusta de forma satisfactoria al modelo exponencial con un alto coeficiente de determinación (R^2) de 0,9526 y un error porcentual medio de (E_{pm}) de 1,30 % lo que indica su alta confiabilidad para utilizarse con fines de pronósticos. La ecuación encontrada fue:

$$P_i = 25,395e^{-1,361q_i} \quad (12)$$

En la **Figura 5** se muestra la curva que relaciona las presiones en cada salida de la tubería lateral con la sumatoria de espaciamiento entre salidas, la cual se ajusta de forma satisfactoria al modelo polinomial de grado dos, con un alto coeficiente de determinación (R^2) de 0,9982 y un error porcentual medio de (E_{pm}) de 0,50 % lo que indica su alta confiabilidad para utilizarse con fines de pronósticos. La ecuación encontrada fue:

$$P_i = 0,00003(\Sigma E_i^2) - 0,0249(\Sigma E_i) + 23,458 \quad (13)$$

En la **Figura 6** se muestra la curva que relaciona las presiones en cada salida de la tubería lateral con el caudal de circulación de cada tramo, la cual se ajusta de forma satisfactoria al modelo polinomial de grado dos, con un alto coeficiente de determinación (R^2) de 0,9524 y un error porcentual medio de (E_{pm}) de 1,04 % lo que indica su alta confiabilidad para utilizarse con fines de pronósticos. La ecuación encontrada fue:

$$P_i = 0,0091Q_i^2 - 0,1767Q_i + 19,136 \quad (14)$$

CONCLUSIONES

- Se logra desarrollar un modelo matemático basado en mediciones de campo, para el diseño hidráulico de tuberías de múltiples salidas de un sistema de riego de pivote central eléctrico para el cultivo de la caña de azúcar, que permitió estimar el

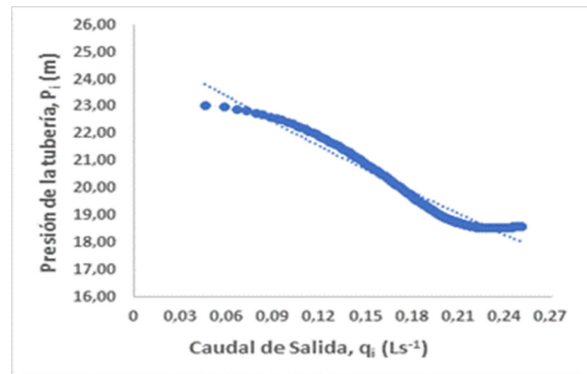


FIGURA 4. Comportamiento de la presión en función del caudal de salida

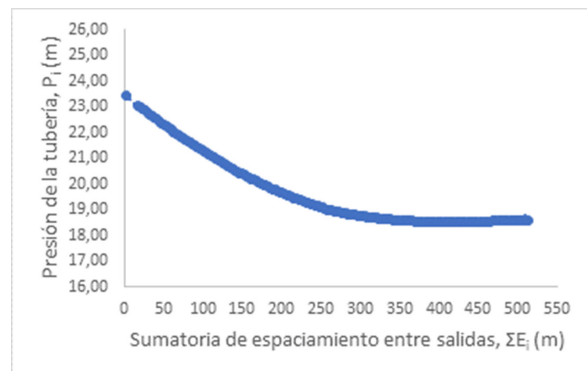


FIGURA 5. Comportamiento de la presión en función de la sumatoria de espaciamiento entre salidas

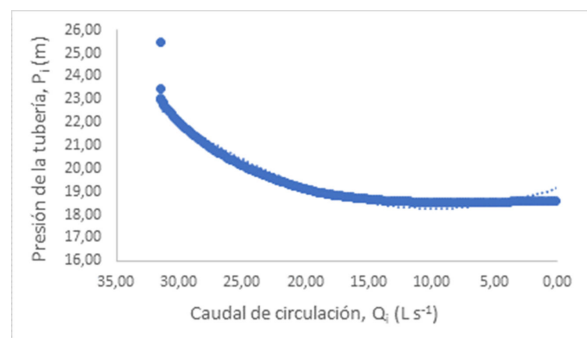


FIGURA 6. Comportamiento de la presión en función del caudal de circulación en cada tramo.

comportamiento de la presión en función del caudal de salida $P_i=f(q_i)$, la sumatoria del espaciamiento entre salidas $P_i = f(\Sigma E_i)$ y el caudal de circulación en cada tramo $P_i=f(Q_i)$.

- El modelo desarrollado para estimar la presión en función de las sumatoria del espaciamiento entre salidas, de los caudales de circulación y de salida, cuenta con una alta fiabilidad debido a que el coeficiente de determinación (R^2) es superior a 0,95 en todos los casos analizados.
- Los errores porcentuales medio arrojados por las tres curvas se encuentran en el rango establecido

para ser aceptable, siendo los valores 1,30%; 0,50% y 1,04% menores que el 20% respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este documento agradecen al Departamento de Ingeniería Hidráulica (DIH) de la Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez por haber apoyado y garantizado el desarrollo de esta investigación que es de gran importancia para el uso eficiente del agua y el aumento de la producción de alimentos, a la Cooperativa de Producción Agropecuaria Revolución de Etiopía por el apoyo brindado en las evaluaciones de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGRET-, E.; MARTÍNEZ, Y.: “Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(3): 41-55, 2019, ISSN: 1680-0338.
- ÁLVAREZ-SEVILLA, I.; BROWN-MANRIQUE, O.; DEL CID-COLINDRES, E.P.: “Modelos matemáticos para la estimación de variables hidroagrícolas en el diseño de sistemas de riego/ Mathematical models for the estimation of hydro agricultural variables in the irrigation systems design”, *Universidad & ciencia*, 10(3): 99-112, 2021, ISSN: 2227-2690.
- ATTIA, S.S.; EL-GINDY, A.; MANSOUR, H.; KALIL, S.E.; ARAFA, Y.E.: “Performance analysis of pressurized irrigation systems using simulation model technique”, *Plant Archives*, 19(Supplement 1): 721-731, 2019, ISSN: 0972-5210.
- BARREZUETA-UNDA, C.S.; BURBANO-BUSTOS, A.F.; SALGADO-ORDOSGOITIA, R.D.; MERLANO-PORTO, R.H.: “Control de riego en cultivos de ahuyama en Sincelejo, Sucre (Colombia) gestionados a través del Internet de las Cosas”, *Información tecnológica*, 31(5): 79-88, 2020, ISSN: 0718-0764, Publisher: SciELO Chile, DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000500079>.
- CALEJO, M.; LAMADDALENA, N.; TEIXEIRA, J.; PEREIRA, L.S.: “Performance analysis of pressurized irrigation systems operating on-demand using flow-driven simulation models”, *Agricultural water management*, 95(2): 154-162, 2008, ISSN: 0378-3774, Publisher: Elsevier.
- CAPARICONA-MARCA, J.J.: “Elaboración de un programa informático de aplicación para diseño agronómico e hidráulico en el método de riego por goteo”, *Apthapi*, 6(2): 1935-1953, 2020, ISSN: 2519-9382.
- CATALÁN-LÓPEZ, J.R.: “Análisis del efecto de uso de trituradores de desechos de comida en la calidad del agua residual”, *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 17(2): 31-40, 2022, ISSN: 2224-9958.
- CISNEROS-ZAYAS, E.; VENERO-DELGADO, Y.; PLACERES-MIRANDA, Z.; GONZÁLEZ-ROBAINA, F.: “El viento y su influencia en los parámetros de calidad del riego”, *Ingeniería Agrícola*, 9(4), 2019, ISSN: 2227-8761.
- DEL RÍO-SAN JOSÉ, J.; REQUE-KILCHENMANN, J.A.; MARTÍNEZ-DE AZAGRA PAREDES, A.: “Evaluación comparativa de la eficiencia técnica de los sistemas de riego de brinzales”, *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (45): 219-230, 2019, ISSN: 1575-2410, Publisher: Sociedad Española de Ciencias Forestales, DOI: <https://doi.org/10.31167/csecfv2i45.19516>.
- GONZÁLEZ-QUIRINO, J.G.; ACEVEDO-DARIAS, M.; PRECIADO-RANGEL, P.; YESCAS-CORONADO, P.; BARRIOS-DÍAZ, J.M.; REYES-GONZÁLEZ, A.: “Ecuación determinística para el diseño hidráulico de sistemas de riego por salidas múltiples”, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5): 777-789, 2021, ISSN: 2007-0934, Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- GUIJARRO-RODRÍGUEZ, A.A.; CEVALLOS-TORRES, L.; PRECIADO-MAILA, D.K.; ZAMBRANO-MANZUR, B.N.: “Sistema de riego automatizado con Arduino”, *Sistema*, 39(37): 27, 2018, ISSN: 0798-1015.
- LADINO-MORENO, E.O.; UBAQUE, C.A.; GARCÍA-VACA, M.C.: “Determinación del coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach utilizando el enfoque Newton-Raphson para android 4.0”, *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmado el Conocimiento*, 23(60): 52-58, 2019, ISSN: 0123-921X, Publisher: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.14929>.
- MENESES-ROJAS, R.A.; SULCA-CASTILLA, O.: “Régimen de riego del cultivo de palto en valle rio Pampas Apurímac-Ayacucho 2019”, *Investigación*, 28(1): 73-81, 2020, ISSN: 2709-8583, DOI: <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.28.1.2020.358>.
- PÉREZ-ARMAS, R.; FERNÁNDEZ-MASS, R.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, H.; PONCE-RANCEL, L.: “Uniformidad del riego de las Máquinas de Pivote 4 y 9 de la Empresa Agropecuaria Horquita”, *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(3): 70-76, 2020, ISSN: 2415-2862.
- RIAÑO-VALLE, F.: “Los aportes de Leonhard Euler al desarrollo de la Hidráulica”, *Ingeniería*

- Hidráulica y Ambiental*, 42(3): 82-102, 2021, ISSN: 2788-6050, e-ISSN: 1680-0338.
- RIVERAS, R.; MUJICA-CERVANTES, A.: ““DITMUSA” Software para el diseño de sistemas de tuberías dotadas de múltiples salidas”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21: 63-68, 2012, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana.
- VEGA-CALDERÓN, F.; GALLEGOS-CÁZARES, L.; FLORES-CAMACHO, F.: “Dificultades conceptuales para la comprensión de la ecuación de Bernoulli”, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2): 339-352, 2017, ISSN: 1697-011X, Publisher: Universidad de Cádiz/Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia Eureka.

Rider Riveras-Hernández. MSc., Prof. Auxiliar. Doctorando del Programa Ciencias Técnicas Agropecuaria. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Ingeniería Hidráulica (DIH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: rider@unica.cu.

Dafne Ortigas-Borroto. MSc., Doctorando del Programa Ciencias Técnicas Agropecuaria, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Departamento de Ingeniería Hidráulica (DIH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: dafne@unica.cu.

Oscar Brown-Manrique. Dr.C., Prof. Titular. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: obrown@unica.cu.

Lorenzo Eddy Camejo-Barreiro. Dr.C., Prof. Titular. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: eddy@unica.cu.

Julio César Quintana-Zaez. Dr.C., Prof. Titular. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Facultad de Ciencias Informáticas, Departamento de Informática, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: jcquintana@unica.cu.

Maiquel Lopez-Silva. Dr.C., Prof. Titular. Universidad Ricardo Palma, Perú, e-mail: maiquel.lopez@urp.edu.pe.

Los autores de este trabajo declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTORES: **Conceptualización:** R. Riveras, O. Brown. **Curación de datos:** O. Brown, R. Riveras, D. Ortega. L. E. Camejo, J. C. Quintana. **Investigación:** R. Riveras, O. Brown, D. Ortega. **Metodología:** R. Riveras, O. Brown, J. C. Quintana, M. López, L. E. Camejo. **Supervisión:** O. Brown, R. Riveras. **Validación:** R. Riveras, O. Brown, D. Ortega, J. C. Quintana. **Papeles/Redacción, borrador original:** O. Brown, R. Riveras. **Redacción, revisión y edición:** R. Riveras, O. Brown.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.