

## **AHORRO DE ENERGÍA EN EL RIEGO POR GRAVEDAD CON EL USO DEL VERTEDOR TRAPEZIAL**

## **ENERGY SAVING IN GRAVITY IRRIGATION WITH THE USE OF THE TRAPEZOIDAL SPILLWAY**

**Autores:** Luis Manuel Sandoval Mendoza<sup>1</sup>

Oscar Brown Manrique<sup>2</sup>

Albi Mujica Cervantes<sup>2</sup>

Jorge Douglas Bonilla Rocha<sup>2</sup>

Yurisbel Gallardo Ballat<sup>2</sup>

**Institución:** <sup>1</sup>Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), Guatemala

<sup>2</sup>Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

**Correo electrónico:** [ingluissandoval@gmail.com](mailto:ingluissandoval@gmail.com)

[obrown@unica.cu](mailto:obrown@unica.cu)

[albi@unica.cu](mailto:albi@unica.cu)

[jorgedbr@unica.cu](mailto:jorgedbr@unica.cu)

[gallardo@unica.cu](mailto:gallardo@unica.cu)

### **RESUMEN**

El conocimiento del caudal de agua que pasa por una conducción abierta es requisito indispensable para el manejo del recurso hídrico en el riego por gravedad. Este propósito se consigue a través de la hidrometría, la cual trata dos aspectos fundamentales: el conocimiento del volumen de agua disponible en la fuente y la eficiencia de distribución. Con el objetivo de ahorrar energía en el riego por gravedad mediante el uso del vertedor trapezoidal, se desarrolló una investigación en la aldea El Rancho, municipio San Agustín Acasaguastlán, Departamento del Progreso, Guatemala; donde se instaló un vertedor Cipolletti en un canal de riego ubicado en esa localidad. Los resultados alcanzados demostraron que, la utilización de un vertedor Cipolletti con ancho de base de 0,40 m permite el control de un caudal de 23,9 a 31,7 L s<sup>-1</sup>, el riego de un área promedio de 232 ha; así como el ahorro de 561,7 kWh y 168,5 dólares en cada riego por concepto de evitarse el pago correspondiente al costo de la energía eléctrica consumida.

**Palabras clave:** Canal de riego, Distribución del agua, Hidrometría.

### **ABSTRACT**

Knowledge of the water flow that passes through an open conduit is an essential requirement for the management of water resources in gravity irrigation. This purpose is achieved through hydrometry, which deals with two fundamental aspects: knowledge of the volume of water available at the source and distribution efficiency. In order to save energy in gravity irrigation through the use of the trapezoidal spillway, an investigation was carried out in the El Rancho village, San Agustín Acasaguastlán municipality, Progreso Department, Guatemala; where a Cipolleti spillway was installed in an irrigation canal located in that town. The results achieved showed that the use of a Cipolleti spillway with a base width of 0.40 m allows the control of a flow of 23.9 to 31.7 L s<sup>-1</sup>, the irrigation of an average area of 232 ha; as well as the saving of 561.7 kWh and 168.5 dollars in each irrigation by way of avoiding the payment corresponding to the cost of the electrical energy consumed.

**Keywords:** Hydrometry, Irrigation canal, Water distribution.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural básico para el desarrollo económico y social, así como para el mantenimiento de la integridad del entorno natural actual y futuro, de cualquier país. Existe una gran incertidumbre en cuanto a la disponibilidad de este recurso para satisfacer las demandas de agua requeridas en la producción de alimentos, energía, usos humanos y a su vez mantener el ecosistema (Camacho, Rodríguez y Montesino, 2017).

Las prácticas de uso de la tierra tienen impactos positivos y negativos, tanto en la disponibilidad como en la calidad de los recursos hídricos (Guerrero, Castellanos y Rodríguez, 2021). Un ejemplo de los impactos negativos es la reducción de la recarga de acuíferos debido a la utilización de técnicas de cultivo no conservativas y de la compactación del suelo, lo que contribuye a la escasez de agua en las estaciones secas, incluso en las regiones donde el agua es generalmente abundante (FAO, 2002).

La escasez de agua se debe a que la demanda supera el suministro de agua dulce en un área determinada (Ordoñez, 2011 y FAO, 2013) y a los efectos del cambio climático global que constituye una preocupación para cuantificar los recursos disponibles en escenarios futuros (Barrantes y Glave, 2014); por tal motivo, es recomendable desde el punto de vista ambiental la medición del flujo para contribuir

al ahorro de agua y energía en la irrigación; en este contexto, los sistemas accionados con energías renovables son muy convenientes para el mejoramiento de la eficiencia hidráulica y energética a pequeña escala (Brown, Méndez y García, 2021).

Las estructuras hidrométricas como los vertedores, los orificios y las de secciones críticas son muy utilizadas para la medición del agua a nivel parcelario con el fin de determinar la cantidad de agua que pasa por una sección de canal por unidad de tiempo. En este caso las compuertas se consideran orificios de área hidráulica regulable y son las más usadas en los diferentes canales para controlar la distribución o entrega de agua a partir de la medición del ancho de la compuerta, la abertura y la altura del agua (Carrion, 2015). El objetivo de la investigación consiste en ahorrar energía en el riego por gravedad mediante el uso del vertedor trapecial y obras de tomas laterales.

## **MATERIALES y MÉTODOS**

El trabajo se desarrolló en el Departamento del Progreso, Guatemala; donde la actividad agrícola se basa fundamentalmente en el desarrollo de diferentes cultivos como maíz, tomate, pimiento, chile, berenjena, tabaco y limón. Se evaluó el impacto de la investigación mediante un estudio de caso que consistió en la instalación de un vertedor Cipolleti en un canal de riego ubicado en la aldea El Rancho, municipio San Agustín Acasaguastlán. La selección de este dispositivo se realizó por su relativa simplicidad y precisión en la estimación de caudales.

Se realizó la evaluación de los costos económicos según criterio de Márquez, Haberland y Kremer, (2013) quienes afirman que, en caso de derivación del agua en un canal mediante el bombeo en sustitución de la realizada con dispositivo de aforo y obras de distribución, se deben estimar los costos de operación según la evapotranspiración y las características de la técnica de riego, debido a que las bombas requieren energía en función del caudal y la presión de trabajo.

La evaluación del consumo de energía eléctrica se realizó en una bomba de la marca Peerless con caudal de  $250 \text{ L s}^{-1}$ , carga dinámica total de 110 m y velocidad del rotor de 1775 rpm. El costo del consumo energético y la cantidad de energía se calculó como:

$$C_E = E \cdot P_E \quad (1)$$

$$E = \frac{Q \cdot H_T}{102 \cdot \eta_B \cdot \eta_M} \quad (2)$$

$$Q = q_b \cdot A \quad (3)$$

Donde  $C_E$  es el costo de la energía (\$);  $E$  la energía consumida (kW);  $P_E$  el precio de la energía (\$ kW<sup>-1</sup>);  $Q$  el caudal requerido para el sistema de riego (L s<sup>-1</sup>);  $H_T$  la altura manométrica total (m);  $\eta_B$  la eficiencia de la bomba;  $\eta_M$  la eficiencia del motor;  $ET_c$  la evapotranspiración del cultivo en el periodo de mayor demanda hídrica (mm día<sup>-1</sup>); eficiencia del cultivo (%);  $q_b$  el hidromódulo bruto (L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>).

En este estudio la eficiencia de la bomba centrífuga se asumió de 60 % y la del motor eléctrico que acciona la bomba del 80 % según criterios del CNR (2000) y el hidromódulo bruto se determinó según Pacheco *et al.* (2007) mediante la ecuación siguiente:

$$q_b = \frac{L_n}{36 \cdot T \cdot t \cdot E_f} \quad (4)$$

Donde  $L_n$  es la lámina neta de riego (mm);  $T$  la duración de la jornada laboral (h);  $t$  el turno de riego (días);  $E_f$  la eficiencia del sistema de riego (adimensional).

En este estudio, la evapotranspiración del cultivo se calculó con datos de precipitación y temperatura de la estación pluviométrica Morazán, la cual se encuentra localizada muy próxima a la zona de estudio, lo que permitió la utilización de la ecuación de Hargreaves de uso generalizado en Guatemala en la determinación de la evapotranspiración referencial. Investigaciones previas realizadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA) permitió obtener los coeficientes  $K_c$  del plan maestro de riego y drenaje agrícola de Guatemala (MAGA, 2013).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de la serie de precipitaciones de la localidad se comprobó que se trata de una zona seca con precipitación anual inferior a 900 mm, donde los meses de enero, febrero, marzo y diciembre presentan precipitación efectiva; pero en general se encontró que la evapotranspiración del cultivo es superior a la precipitación efectiva en todos los meses; por lo que el déficit de humedad es permanente, lo cual

se corresponde con el comportamiento climático de esta región situada dentro del llamado corredor seco de Guatemala.

En febrero y los demás meses comprendidos entre julio y diciembre, la evapotranspiración del cultivo se comporta relativamente más estable con valores que fluctúan entre 3,0 y 4,8 milímetros por día.

Las necesidades hídricas netas son más elevadas en los meses de marzo, abril y mayo; siendo abril el mes de mayor demanda de agua con un valor de 280,5 mm  $\text{mes}^{-1}$ . En el mes de septiembre se encontró el valor más bajo de este parámetro con sólo 13,1 mm  $\text{mes}^{-1}$ .

En la Tabla 1 se muestra la relación de la precipitación efectiva con la evapotranspiración del cultivo y sus necesidades hídricas. En primer lugar, se debe resaltar que de los 817,6 mm de precipitaciones que caen como promedio en la localidad solo el 54,8 % se convierte en precipitaciones efectivas o aprovechables por el cultivo; por lo que el resto del agua requerida se debe suministrar mediante el riego.

**Tabla 1** Relación entre precipitación efectiva y demanda de agua del cultivo.

<b>Relación (%)</b>	<b>Anual</b>	<b>Mes pico</b>
$P_e/P$	54,8	35,1
$P_e/ET_c$	24,7	4,8
$P_e/NH$	32,8	5,0

En segundo lugar, merece total atención el hecho que del agua disponible como aprovechable apenas el 24,7 % participa en la evapotranspiración del cultivo y finalmente, la precipitación efectiva representa el 32,8 % de las necesidades hídricas. Este comportamiento se agrava de forma específica en el mes pico o de máxima demanda hídrica, donde los porcentajes que expresan estas relaciones son muy bajos y manifiestan un marcado déficit de agua para el desarrollo de la agricultura.

En el análisis de los parámetros agronómicos del sistema se obtuvo una lámina neta máxima de 104,1 mm que para un sistema de riego por gravedad que riega con eficiencia 50 % en jornadas de trabajo de ocho horas diarias y turno de riego de seis días (criterios de los propios agricultores), se obtuvo un hidromódulo bruto de 0,12 L  $\text{s}^{-1} \text{ha}^{-1}$ , comprendido dentro del rango de 0,10 a 2,0 que son los valores frecuentes

reportado por Pacheco *et al.* (2007). Esto permitió la estimación de un caudal necesario de  $27,8 \text{ L s}^{-1}$  en función de las necesidades hídricas y el área del cultivo. Para suplir el déficit de agua para el riego de los cultivos los agricultores aprovechan el agua del río Motagua (Figuras 1), de donde mediante una compuerta con sistema de regulación mecánica se realiza la derivación hacia el canal de riego que en su primer tramo presenta una sección transversal de tipo rectangular (Figura 2). En relación con el tema de la derivación del agua, es oportuno destacar que la utilización de este procedimiento de manejo, constituye una vía práctica y económica manejada por los agricultores de esta zona para la captación del agua del río y la distribución a las zanjas desde el canal de riego. Esta práctica se justifica según Carrion (2015) debido a que las compuertas funcionan de manera similar a los orificios; por lo que para la obtención del valor del caudal; solo se requiere de la medición del ancho y la altura de la lamina de agua.



**Figura 1. Río Motagua empleado como fuente de agua para el riego.**



**Figura 2. Compuerta y canal rectangular para la derivación del agua.**

En la aldea El Rancho, el canal de riego presenta una forma trapezoidal, a partir del cual se realiza la derivación de agua hacia las parcelas de riego mediante compuertas laterales de sección rectangular (Figura 3) y equipo de bombeo.



**Figura 3. Canal de sección trapecial y compuerta lateral.**

Para el mejoramiento del control en la distribución del agua se consideró apropiado instalar en el canal un vertedor trapecial o Cipolletti vinculado a la obra de toma lateral como se muestra en la Figura 4 con las dimensiones que se muestran en la Figura 5.



Figura 4. Proceso de instalación y prueba del vertedor en el canal de riego.

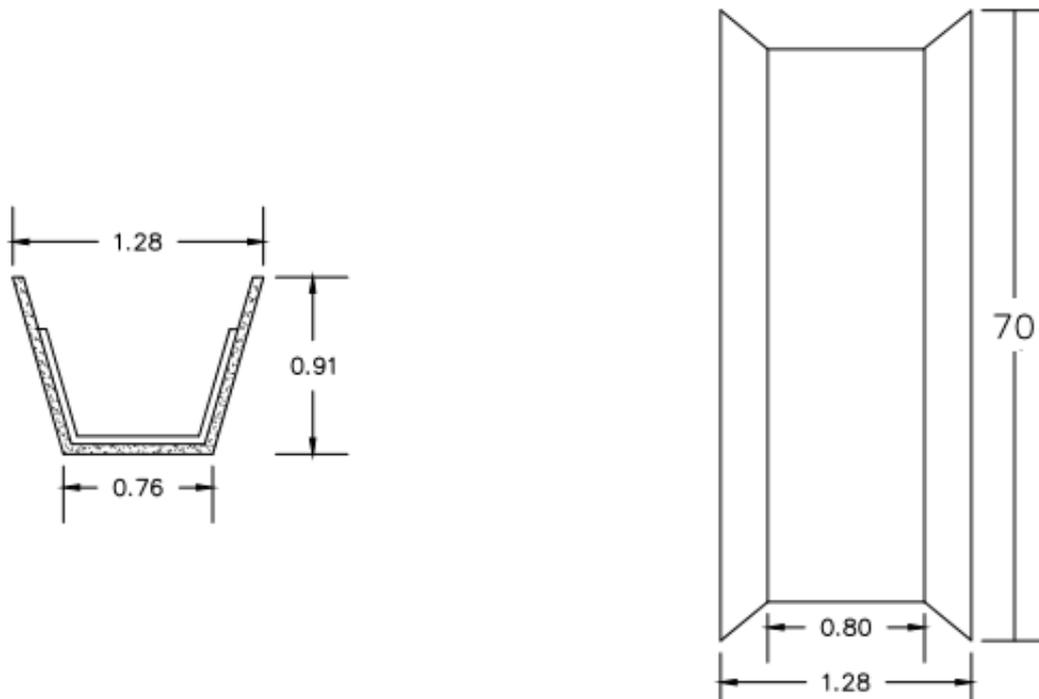
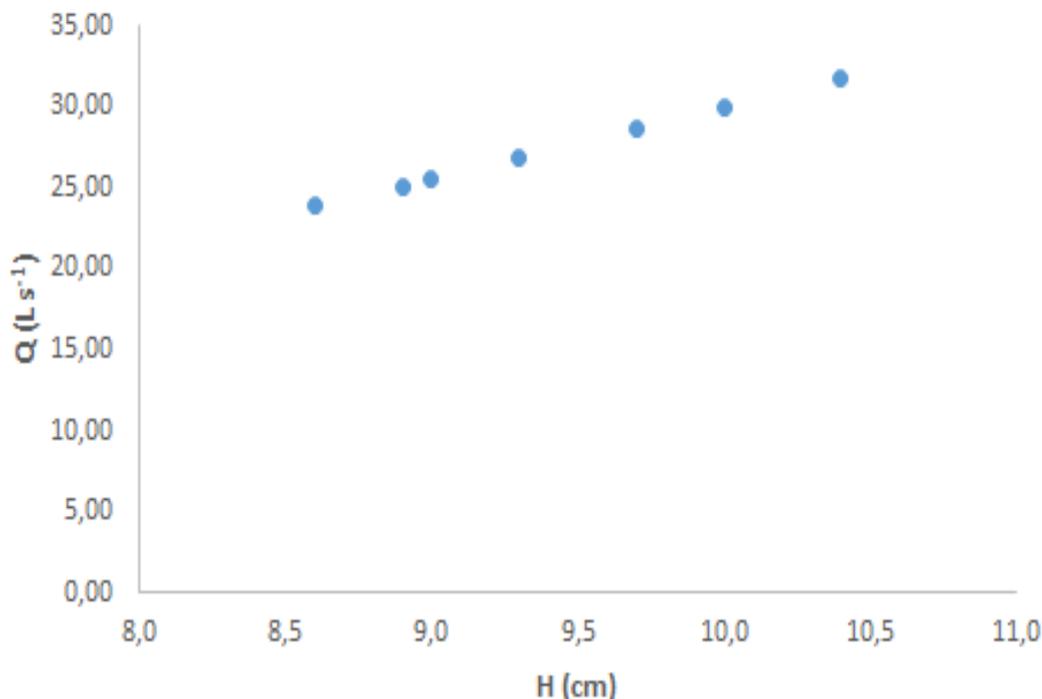


Figura 5. Dimensiones del vertedor instalado en el canal de riego (m).

Este dispositivo con ancho de base de 0,50 m y altura máxima de 0,69 m, permitió la derivación de un caudal en el rango de 23,9 a 31,7 L s<sup>-1</sup> con láminas de agua sobre la cresta del vertedor entre 8,6 a 10,4 cm (Figura 6), pudiéndose regar como promedio un área de 232 ha.



**Figura 6. Caudales reales aforados con el vertedor Cipolletti.**

En caso de utilizarse la alternativa de derivación del agua con equipos de bombeo, es posible utilizar una bomba con caudal de  $97,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  y altura manométrica total de  $80,0 \text{ m}$ ; por lo que el consumo de energía eléctrica sería de  $45,4 \text{ kW}$  con un costo de la energía eléctrica de  $13,6 \text{ dólares}$  ( $106,0 \text{ Quetzales}$ ) en cada riego.

Se comprobó que siete usuarios de esta localidad utilizan el bombeo directo desde el canal para la entrega de agua a los cultivos. El equipo de bombeo utilizado es de la marca Peerless (Figura 7) con caudal de  $250,0 \text{ L s}^{-1}$  y carga de  $110,0 \text{ m}$  obteniéndose un consumo de  $561,7 \text{ kW}$  y un costo de la energía eléctrica igual a  $168,5 \text{ dólares}$  ( $1314,0 \text{ Quetzales}$ ) en cada riego.

Por consiguiente, la utilización del vertedor trapecial para el aforo del caudal y obras de tomas laterales en la distribución del agua al sistema de riego contribuye al control del flujo y al ahorro de recursos financieros y energéticos. Este resultado concuerda con lo expuesto por León, Gómez y Viego, (2019) en estudios realizados en la UEB Central Azucarero 14 de Julio del municipio Rodas, provincia de Cienfuegos, Cuba sobre el tema del potencial de ahorro de energía a partir de la sustitución de los motores. Los resultados alcanzados por estos investigadores demuestran la factibilidad del cálculo del potencial de ahorro económico a partir del costo de la energía ahorrada.



**Figura 7. Derivación del agua en el canal de riego mediante bombeo.**

## **CONCLUSIONES**

La utilización de un vertedor Cipolletti en el canal de riego de la aldea El Rancho con ancho de base de 0,40 m permite el control de un caudal de 23,9 a 31,7 L s<sup>-1</sup> y regar un área de 232 ha como promedio. Esta alternativa de control y derivación del caudal con fines de riego contribuyó al ahorro de 561,7 kWh y 168,5 dólares (1314,0 Quetzales) en cada riego por concepto de evitarse el pago correspondiente al costo de la energía eléctrica consumida.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BARRANTES, R., Y GLAVE, M. (2014). Amazonía peruana y desarrollo económico. Lima, Perú: Ed. IIEP-GRADE, p. 1-23.
- BROWN, O., MÉNDEZ, N., Y GARCÍA, F. (2021). Design of a Windmill for the Water Pumping in a Sprinkle Irrigation System. *Revista INGE CUC*, Vol.17, No.2, p. 1-8.
- CAMACHO, E., RODRÍGUEZ, J. A., y MONTESINOS, P. (2017). Ahorro de agua y consumo de energía en la modernización de regadíos. *Cajamar Caja Rural. Serie Economía*, No.3, p. 221-249.
- CARRION, R. (2015). Manual de capacitación: medición del agua de riego. Primera

- edición especial. San Juan, Argentina: Ed. Unidad para el Cambio Rural.
- CNR. (2000). Manual sobre fuentes de energía para sistemas de impulsión en obras menores de riego. Chile. Vol. 1, p. 312.
- FAO. (2002). Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales. Boletín de tierras y aguas. Roma, Italia: Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2002, p. 61-73.
- FAO. (2013). Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Boletín de tierras y aguas. Roma, Italia: Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, p. 15-24.
- GUERRERO, J. C., CASTELLANOS, L. y RODRÍGUEZ, N. T. (2021). Calidad de agua para riego de 60 fincas agroecológicas de 4 municipios del departamento de Boyacá. *Revista INGE CUC*, Vol.17, No.1, p. 1-8.
- LEÓN, G. de, GÓMEZ, J. R., y VIEGO, P. R. (2019). Ahorro de energía por sustitución de motores subcargados que accionan cargas de alta inercia. *Revista Centro Azúcar*, Vol.46, No.1, p. 40-50.
- MAGA. (2013). Política de Promoción del Riego 2013-2023. Guatemala: Ed. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 87 p.
- MÁRQUEZ, R., HABERLAND, J. y KREMER, C. (2013). Evaluación técnico económica del entubamiento presurizado de dos canales de riego en la comuna de Alto del Carmen, Región de Atacama. Programa UCHILECREA –ATACAMA. Chile: Ed. Universidad de Chile, 63 p.
- ORDOÑEZ, J. J. (2011). Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestión Integral de recurso hídrico. Lima, Perú: Ed. Sociedad Geográfica de Lima, p. 22-36.
- PACHECO, J. ...[et al.] (2007). Riego y Drenaje. Ciudad de La Habana, Cuba: Ed. Félix Varela, 414 p.