

Diagnóstico y evaluación de sistemas de riego presurizados del cantón Portoviejo en Manabí, Ecuador



<https://cu-id.com/2177/v33n3e03>

Diagnosis and evaluation of pressurized irrigation systems in Portoviejo City, Manabí, Ecuador

✉ Mario Alejandro Sánchez-Olivo^{1*}, ✉ Ramón Pérez-Leira^{II}

^IMinisterio de ambiente, agua y transición ecológica (MAATE). Fomento a la Gestión de Agua Potable, Saneamiento, Riego y Drenaje (FOGAPRYD), Portoviejo, Manabí, Ecuador.

^{II}Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura. Manta, Manabí, Ecuador.

RESUMEN: Durante 2022, se realizó una investigación en los sistemas de riego presurizados de 16 fincas del cantón Portoviejo para evaluar su gestión desde la etapa de proyección hasta la operación de los Sistemas. Los Factores limitantes más relevantes que afectaron la gestión fueron: A) Presencia de fugas o roturas en campo presentes en el sistema, B) Modificaciones constructivas al proyecto inicial, C) Desconocimiento de procedimiento de Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) del sistema de riego, D) Ausencia de sistema de filtrado, E) Ausencia de proyecto o diseño hidráulico del sistema, F) Ausencia de obras de captación. El factor D) fue el problema más frecuente, identificado en 14 de 16 evaluaciones. La Calidad del Riego se evaluó a partir de evaluaciones hidráulicas y cálculo de los Coeficientes de Uniformidad establecidos en las Normas para estos sistemas. Se evidenció una mayor Uniformidad en los sistemas de riego localizado con un máximo del 93.90%. La Uniformidad en los sistemas de aspersión tuvo un rango amplio, de 29.90% a 73.10%, con una media de 52.33%, lo cual categoriza como inaceptable. El factor A mostró poca influencia en la Uniformidad, mientras que los factores limitantes D, C y E fueron los que mayor incidencia tuvieron en la calidad del Riego.

Palabras clave: evaluación hidráulica, factor, riego por aspersión, riego localizado.

ABSTRACT: During 2022, an investigation was conducted on 16 farms to evaluate management of pressurized irrigation systems in Portoviejo City. Factors that affected management were identified, such as; A) Presence of leaks or breaks in the irrigation system deployed on the field, B) Modifications done to the initial project constructions, C) Lack of knowledge regarding managing, operating and maintaining (AOM) irrigation system, D) Absence of a filtering system, E) Absence of a hydraulic design of the system or implementation of a hydraulic project, F) Absence of water collectors. Factor D) was the most frequent troubling issue, identified in 14 out of 16 evaluations. Quality of the system was tested based on hydraulic evaluation and calculations to determine the uniformity of the output following the established hydraulic system norms. As a result, Localized irrigation systems displayed the highest rating, with a maximum efficiency of 93.90%. Sprinkler systems had a wider range, from 29.90% to 73.10%, with an average of 52.33%, which was considered unacceptable. Factor A showed little variation in uniformity evaluations, while factor D, C and E showed greater disparity in uniformity values.

Keywords: hydraulic evaluation, factor, sprinkler irrigation, localized irrigation.

*Autor para correspondencia: Mario Alejandro Sánchez-Olivo, e-mail: mariosanchezolivo@gmail.com

Recibido: 28/01/2024

Aceptado: 14/06/2024

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

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: **Conceptualización:** M. Sanchez. R. Pérez. **Curación de datos:** M. Sanchez. R. Pérez. **Análisis formal:** M. Sanchez. R. Pérez. **Investigación:** M. Sanchez. R. Pérez. **Metodología:** M. Sanchez. R. Pérez. **Supervisión:** M. Sanchez. R. Pérez. **Validación:** M. Sanchez. R. Pérez. **Visualización:** M. Sanchez. R. Pérez. **Redacción-borrador original:** M. Sanchez. R. Pérez. **Redacción, revisión y edición:** M. Sanchez. R. Pérez.

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

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente del riego representa un desafío crucial en la optimización del uso del agua en la producción de cultivos, siendo uno de los objetivos fundamentales de la agricultura sostenible. Este enfoque cobra particular relevancia dado que la práctica agrícola bajo riego constituye el principal consumidor de agua dulce (Escribano, 2007; Herath *et al.*, 2014; FAO, 2022).

hasta la aplicación en los terrenos, incluyendo la conducción, almacenamiento, distribución y los Para el riego en zonas semiáridas, existe una probabilidad cada vez mayor de que se produzcan escenarios de escasez de agua (Fontanet *et al.*, 2022). En Ecuador, aproximadamente el 81% del agua dulce se destina al sector agrícola que utiliza sistemas de riego (World Bank, 2020). En el país, se puede observar una inadecuada gestión de riego en todos los aspectos del sistema, desde la recolección hasta la aplicación en los terrenos, incluyendo la conducción, almacenamiento, distribución y los métodos de riego parcelario. En la mayoría de las juntas de regantes, el proceso se lleva a cabo de manera improvisada y sin planificación (Nieto *et al.*, 2018).

Un factor crucial en la evaluación de los sistemas de riego es la uniformidad en la aplicación del agua sobre la superficie de la zona irrigada, lo que influye directamente en el manejo, calidad y rendimiento de los cultivos, la eficiencia en el uso del agua, el costo del riego y, por ende, en la producción (Salassier *et al.*, 2008). La falta de uniformidad en la distribución de agua puede provocar un desarrollo irregular de las plantas y en algunos casos la acumulación de sales en el suelo, lo que puede llevar a la degradación del suelo (Cunha *et al.*, 2008). Christiansen (1942), propuso el primer coeficiente de uniformidad que usó la desviación media como medida de dispersión (CU). Por otro lado, Merriam & Keller (1978) consideran el Coeficiente de Uniformidad de Distribución (UD) como la relación entre la media del 25% de los valores más bajos de las láminas de irrigación y la lámina media recolectada.

La base que garantiza el funcionamiento óptimo de un sistema de Riego es el Diseño Hidráulico a partir del Diseño Agronómico. No obstante, existen factores adicionales que pueden impactar en la calidad del riego desde su concepción, planificación y gestión. Uno de estos aspectos es la diferencia que se ha comprobado entre los resultados de laboratorio y las mediciones de campo enfocadas a definir los límites máximos y mínimos del agua aprovechable por las plantas (Evetts *et al.*, 2019). Reyes *et al.* (2022) también reconocen inconvenientes en el sistema hidráulico utilizado para la distribución del agua y la obstrucción causada por partículas presentes en el agua de riego, al igual que Rocha (2019), quien identificó la ausencia de asesoría técnica para lograr

la correcta “adopción de la tecnología por parte de los agricultores”. El uso eficiente del agua en la irrigación se ve afectado por otros factores, entre los que se destacan: la falta de tecnificación, sistemas de diseño inadecuados, problemas en los emisores como fugas, roturas, falta de uniformidad y ausencia de sistemas de filtrado antes del bombeo (Li *et al.*, 2022) y de mantenimiento sistemático que se requiere (Pérez, 2022). A ello se suman las pendientes y longitudes excesivas en los laterales, la mala selección del emisor y falta de mantenimiento sistemático. Masseroni *et al.* (2024) señalan que, para fomentar la conservación del agua en el ámbito de la agricultura, se debería explorar un cambio de paradigma hacia estrategias encaminadas a aumentar la flexibilidad de la programación del riego y a mejorar el diseño y la gestión de la disposición de los campos y las prácticas de riego.

Según Bohórquez *et al.* (2015), la UD se refiere a la igualdad en la entrega de agua a diversas áreas de una parcela durante el riego. Esta uniformidad puede ser influenciada por discrepancias en las presiones, variaciones en la fabricación de los goteros, su posible obstrucción con el tiempo, la distribución de agua en los laterales del área de riego y la liberación de agua por parte de los goteros después de cada ciclo de riego. Sokol *et al.* (2022) confirman que el uso de goteros con compensadores de presión incorporados para mantener caudales estables durante las variaciones de presión que se puedan presentar en la red, garantizan una mayor uniformidad del riego, no obstante esta ventaja aún no es conocida por todos los agricultores en Manabí.

Es importante recordar que el mantenimiento apropiado y la gestión eficiente de los sistemas de riego son esenciales para lograr una buena UD del agua. Para reducir el consumo de agua en la irrigación, es fundamental optimizar los programas de riego a través del cálculo preciso de las necesidades de agua de los cultivos y contar con un diseño de riego adecuado. Estas mejoras son complementarias y fundamentales para cualquier proceso de optimización del riego, que debe considerar la capacidad de la red de distribución para aplicar agua de manera eficaz en el campo (Bohórquez *et al.*, 2015).

La uniformidad de Christiansen (CU) y la uniformidad de distribución (DU) son los indicadores de evaluación de la calidad del riego más utilizados, centrándose en la uniformidad general y el déficit de agua local, respectivamente (Xue *et al.*, 2023). Según Sánchez (2023), en la gran mayoría de evaluaciones hidráulicas realizadas a sistemas de riego presurizados en el cantón Portoviejo, se obtuvieron calificaciones inaceptables basadas en el CU y UD. Estos resultados son causados por la falta de un diseño adecuado desde la construcción, la falta de elementos de control para mejorar la operación, reducir obstrucciones y roturas (Sánchez, 2023).

[Vanella et al. \(2021\)](#) demostraron la utilidad de emplear Imágenes de Resistividad Eléctrica (ERI, por sus siglas en inglés) para identificar los patrones de humectación y secado del suelo, así como las características geométricas de los bulbos húmedos, las cuales son de las variables más influyentes para el diseño óptimo y manejo de sistemas de riego localizado.

[Santisteban & Díaz \(2022\)](#) y [Lavallo \(2020\)](#) demuestran la necesidad de conocer valores de Coeficientes de Uniformidad desde el Diseño Hidráulico que se realiza de los Sistemas de Riego Localizado. Si bien estos valores estimados en los cálculos deben estar dentro del rango de aceptación, adoptar valores muy altos podría generar diseños demasiado alejados de la realidad posible a obtener una vez que los sistemas estén construidos y en operación. Con ello quedarían reducidas las garantías de poder hacer un riego eficiente a los cultivos.

En algunos países con mayor disponibilidad tecnológica se analizan los beneficios de la teledetección [Corbari & Mancini \(2023\)](#); [Erazo et al. \(2023\)](#) para lograr distribuciones de agua más precisas y eficientes durante el riego.

Con base en los antecedentes expuestos, el objetivo del estudio consistió en diagnosticar y evaluar el funcionamiento de los sistemas de riego presurizado en el Cantón Portoviejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se realizó en la zona de Portoviejo, que se encuentra a 30 km de la costa del Ecuador, en la parte central-norte de la provincia de Manabí. Esta área cuenta con dos planicies, el valle del río Portoviejo y el valle del Riochico, que presentan un relieve irregular y son adecuados para la agricultura y otras actividades humanas. La pendiente no supera el 5%, ambas se sitúan entre los 37 y 60 m os sobre el nivel del mar, en una zona subtropical y tropical, con una temperatura media de 24 °C, que puede alcanzar máximas de hasta 36 °C. La precipitación media anual de los años 2000 a 2009 es

de 596,20 mm, con el 2000 y el 2008 como los años más lluviosos y el 2001, 2003 y 2009 como los más secos ([GAD Portoviejo-Ecuador, 2015](#)). El estudio se realizó en 16 fincas ubicadas en las parroquias de Abdón Calderón, Alajuela, Portoviejo y Riochico, según se muestra en la [Figura 1](#), que representa su distribución espacial en el cantón de Portoviejo.

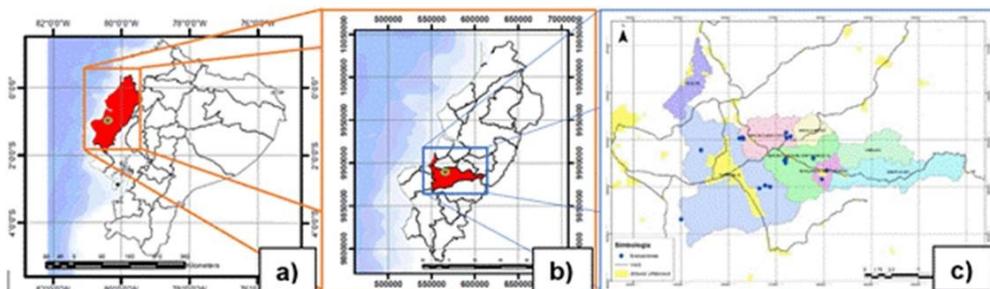
Metodología

Bajo un enfoque descriptivo de investigación, El procedimiento consistió en identificar posibles anomalías o irregularidades que pudieran afectar el funcionamiento de dichos sistemas. Durante la inspección, se prestó especial atención a aspectos como fugas, daños estructurales, obstrucciones en emisores y aspersores, y cualquier indicio que comprometiera la uniformidad de los sistemas evaluados. Todas las observaciones y hallazgos fueron registrados meticulosamente, facilitando así un análisis detallado de las condiciones presentes en los sistemas de riego del cantón.

Esta etapa de inspección visual proporcionó una base sólida para la evaluación posterior de las condiciones hidráulicas y la uniformidad de distribución en los sistemas de riego presurizados de la región. Una vez que fueron levantadas toda las anomalías e irregularidades, como en las inspecciones visuales, se detectaron seis factores limitantes que afectan a la gestión de los sistemas de riego mismo que se detallan en la [Tabla 1](#), misma que se presenta a continuación:

Para las evaluaciones hidráulicas se utilizó la ficha de evaluación de la uniformidad de riego en sistemas de riego por aspersión y localizado, que se basó en las normas internacionales [UNE-EN 15097 \(2007\)](#) e [ISO 15886-3 \(2021\)](#), respectivamente, para evaluar la uniformidad del riego. Con la utilización de esta ficha, se recopiló información relacionada con el aspecto hidráulico de los sistemas, lo que permitió determinar la uniformidad de cada uno de ellos.

Coefficiente de uniformidad de Christiansen (CU): El concepto de coeficiente de uniformidad fue creado por [Christiansen \(1942\)](#) y se utiliza como una medida estadística de la uniformidad en los sistemas de riego ([ecuación \[1\]](#)) y se define como:



Nota: Ubicación del cantón Portoviejo: Ecuador (a), provincia de Manabí (b), Ubicación de fincas evaluadas (c).

FIGURA 1. Distribución espacial de fincas objeto de estudio.

TABLA 1. Factor de afectación detectado en evaluaciones realizadas en el cantón Portoviejo

Identificación de factor	Factor de afectación detectado
A	Presencia de fugas o roturas en campo presentes en el sistema
B	Modificaciones constructivas al proyecto inicial
C	Desconocimiento de procedimiento de administración, operación y mantenimiento (AOM) del sistema de riego
D	Ausencia de sistema de filtrado
E	Ausencia de proyecto o diseño hidráulico del sistema
F	Ausencia de obras de captación

$$CU(\%) = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right] * 100 \quad [1]$$

donde:

x_i = volumen de agua acumulado en cada pluviómetro, en mm.

\bar{x} = volumen medio de agua recogida en todos los pluviómetros, en mm.

n = número de pluviómetros que intervienen en la evaluación.

Uniformidad de distribución (UD): Se adoptó el concepto de propuesto por [Merriam & Keller \(1978\)](#), donde indica que; la uniformidad de distribución del sistema de riego se expresa en porcentaje y es la división entre la media del volumen recogido en el cuarto inferior de los goteros que aplican menos agua ($V_{25\%}$) y V_m se refiere a la media del volumen recogido en todos los aspersores y emisores evaluados, multiplicado por cien ([ecuación \[2\]](#)). El cálculo de este índice se basa en la información recopilada durante la evaluación de campo y se utiliza para determinar la gravedad de los problemas en el proceso de aplicación del agua.

$$UD(\%) = \frac{V_{25\%}}{V_m} * 100 \quad [2]$$

En el estudio se consideró el cálculo de la Uniformidad de distribución del caudal (UD_q) ([ecuación \[3\]](#)) y Uniformidad de distribución de la presión (UD_p) ([ecuación \[4\]](#)) y que se expresan a través de las siguientes ecuaciones:

Uniformidad de distribución del caudal (UD_q)

$$UD_q(\%) = \frac{\bar{q}_{25\%}}{\bar{q}} * 100 \quad [3]$$

donde:

UD_q = Uniformidad de distribución del caudal, expresado en porcentaje.

$\bar{q}_{25\%}$ = es la media de los caudales del 25% de goteros de las lecturas más bajas, en l/h.

\bar{q} = es el caudal medio de los aspersores y emisores del bloque de riego ensayado, en l/h.

Uniformidad de distribución de la presión (UD_p)

$$UD_p(\%) = \frac{\bar{p}_{25\%}}{\bar{p}} * 100 \quad [4]$$

donde:

UD_p = Uniformidad de distribución de la presión, expresado en porcentaje.

$\bar{p}_{25\%}$ = es la media de presiones del 25% de goteros de las lecturas más bajas, en bar.

\bar{p} = es la presión media de los goteros del bloque de riego ensayado, en bar.

Calificación de la uniformidad del riego: Se empleó la clasificación de [Christiansen \(1942\)](#), para describir y evaluar el sistema de riego presurizado, tomando en cuenta sus coeficientes de uniformidad y distribución. Esta evaluación se presenta en la [Tabla 2](#).

Después de recopilar la información necesaria, se llevó a cabo un análisis de correlación entre las variables para identificar relaciones causa-efecto entre los problemas identificados, que permitió identificar los factores limitantes más influyentes en la uniformidad y gestión del riego en los sistemas de riego presurizados del cantón. Estas evaluaciones se llevaron a cabo con el objetivo de comprender mejor las condiciones hidráulicas, la UD_q y UD_p en esta región, lo que proporcionará información valiosa para la gestión y mejora de los sistemas de riego en el futuro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de inspección visual

En la inspección visual, se logró identificar los factores limitantes representan un elemento crucial que influye en el funcionamiento y la eficiencia de estos sistemas. En la [Tabla 3](#), se enumeran cada uno de los factores limitantes identificados durante las evaluaciones llevadas a cabo en los sistemas de riego en el cantón.

Como se puede apreciar en la [tabla 3](#), el factor que se manifestó con mayor frecuencia fue el factor D) Ausencia de sistema de filtrado, detectado en un total de 14 ocasiones de las 16 evaluaciones realizadas. La carencia de sistemas de filtrado es motivo de preocupación en la irrigación, siendo aún más acentuada en los sistemas de riego localizado, la implementación de sistemas de filtración es esencial para prevenir obstrucciones en los emisores. Según [Sánchez et al. \(2009\)](#), las obstrucciones en los emisores ejercen un impacto adverso en la uniformidad y producción de los cultivos, lo que subraya la imperante necesidad de utilizar tecnologías de filtración eficaces para mejorar tanto la calidad física como biológica del agua.

TABLA 2. Calificación del Coeficiente de Uniformidad y la Uniformidad de Distribución de los sistemas de riego evaluados

CU, UD (%)	Calificación
> 95	Excelente
85 - 95	Buena
80 - 85	Aceptable
70 - 80	Pobre
< 70	Inaceptable

Nota: CU coeficiente de uniformidad y UD Uniformidad de distribución, expresado en porcentaje, según [Christiansen \(1942\)](#).

TABLA 3. Factores limitantes identificados en cada una de las evaluaciones

No. de Evaluación	Método de Riego	Identificación de afectación						Total, de factores detectados
		A)	B)	C)	D)	E)	F)	
1	1		✓		✓	✓		3
2	1				✓	✓		2
3	1			✓	✓	✓		3
4	1		✓	✓	✓	✓		4
5	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6
6	1		✓		✓		✓	3
7	2		✓	✓	✓	✓		4
8	2				✓	✓		2
9	2		✓	✓			✓	3
10	2	✓	✓	✓	✓	✓		5
11	2			✓		✓		2
12	2	✓	✓	✓	✓			4
13	2		✓	✓	✓			3
14	2		✓	✓	✓	✓		4
15	2		✓	✓	✓	✓	✓	5
16	2			✓	✓	✓		3
Frecuencia acumulada de cada factor		3	11	12	14	12	4	

Nota: Método de riego; 1 Aspersión, 2 Localizado. Identificación de afectación; A) Presencia de fugas o roturas en campo presentes en el sistema, B) Modificaciones constructivas al proyecto inicial, C) Desconocimiento de procedimiento de AOM del sistema de riego, D) Ausencia de sistema de filtrado, E) Ausencia de proyecto o diseño hidráulico del sistema, F) Ausencia de obras de captación.

De manera similar se puede observar en la [Tabla 3](#), que el segundo factor que mayormente se presentó fue el C, con un total de 12 apariciones de las 16 evaluaciones realizadas. Según el [MAATE-Ecuador \(2021\)](#), la carencia de una formación continua en aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales conlleva al incremento de las debilidades en los proveedores, tanto públicos como comunitarios, relacionadas con el riego y drenaje. Esto último se manifiesta en un manejo deficiente de la administración, operación y mantenimiento de los sistemas de riego por lo cual es recomendable capacitar de manera constante a los operadores sobre la función, el manejo correcto y mantenimiento de los equipos de riego antes de su manipulación ([Santisteban & Díaz, 2022](#) y [Claudio Benites, 2021](#)). Esta recomendación también concuerda con las apreciaciones de [Zubelzu et al. \(2023\)](#) al comprobar la tendencia de los agricultores a no abandonar las prácticas tradicionales a pesar de las nuevas

herramientas de programación que se ponen a su disposición.

Al igual que el factor anterior, con 12 menciones en las evaluaciones, se identifica que, el factor E, como se puede observar en la [Tabla 3](#). Un diseño adecuado de los sistemas de riego es fundamental para asegurar la eficiencia en el uso del agua en el sector agropecuario. Es imprescindible promover la utilización efectiva del recurso hídrico en la agricultura y la ganadería, lo cual implica mejorar las técnicas y herramientas empleadas para la conducción, distribución y aplicación del agua de riego. Además, es vital enfocarse en diseño, revisión y evaluación de los sistemas de riego ([Espinosa et al., 2016](#)).

Seguidamente se identifica que, el factor con el factor B, que realiza un total de 11 apariciones dentro de las 16 evaluaciones realizadas, como se lo encuentra en la [Tabla 3](#). Las modificaciones que se realizan en los sistemas de riego deberían contar con la evaluación previa del sistema, para el

establecimiento de los parámetros con que cuenta el sistema y realizar un diseño adecuado de las modificaciones que se pretendan realizar. Es decir; conocer la situación actual del sistema, para poder diseñar de la manera más óptima las modificaciones y mejorar que requieran realizar y evitar el incremento de las pérdidas de presión locales que ocurren cuando se realizan acoples excesivos o de manera artesanal en los laterales de riego (Martí et al., 2023).

En quinto lugar, se identifica el factor F, que se presenta en 4 de las 16 evaluaciones realizadas, como puede apreciarse en la [Tabla 3](#). En este contexto, la obra de captación se refiere a un conjunto de estructuras hidráulicas diseñadas con el propósito de derivar o captar agua de un cauce. Estas estructuras incluyen elementos como un azud y una bocatoma, que puede ser lateral o de fondo. Además de su función principal de captación, estas obras también tienen la capacidad de retener los sedimentos transportados por el río desde áreas elevadas durante las crecidas (Rodríguez et al., 2014).

Y en último lugar, pero no menos importante se identifica que, el factor A, en 3 ocasiones de las 16 evaluaciones realizadas. La presencia de fugas y roturas en los sistemas de riego tiene como resultado un volumen de recurso hídrico que no es aprovechado por la planta (MAGAP-Ecuador, 2015).

En la [Figura 2](#), se puede observar el histograma de frecuencia obtenido a partir de las 16 evaluaciones realizadas a los sistemas de riego, en el cantón Portoviejo.

Como se puede apreciar en la [Tabla 3](#) y en la [Figura 2](#), el factor que se manifestó con mayor frecuencia fue el factor D, detectado en un total de 14 ocasiones de las 16 evaluaciones realizadas. Dependiendo la calidad de agua que se utilice en el sistema, se presentarán obstrucciones que pueden ser por partículas minerales en suspensión (arcilla, limo, arena), materia orgánica y precipitados (principalmente carbonatos). Con la adopción de un sistema de filtrado se previene las obstrucciones de aspersores y emisores, que son consideradas como uno de los problemas más graves en los sistemas de riego presurizados (Monge, 2018).

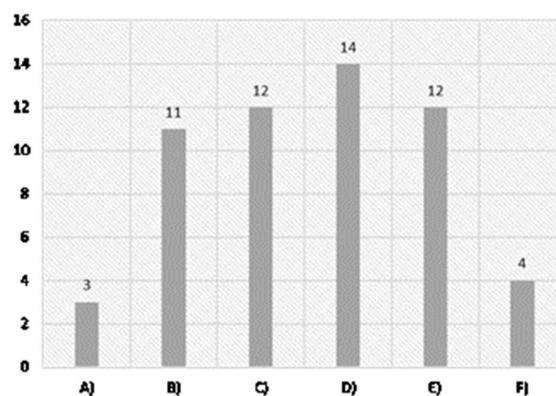


FIGURA 2. Factores limitantes identificados en cada una de las evaluaciones.

Resultados de la uniformidad en los sistemas de riego

Una vez que se realizaron las evaluaciones hidráulicas se obtuvieron los resultados de los sistemas de riego por aspersión que se los presenta en la [Tabla 4](#).

En la [Tabla 4](#), se presentan los resultados de las 6 evaluaciones realizadas en sistemas de riego presurizados por aspersión. Es notable que el CU muestra un rango de valores desde un mínimo de 29.90% hasta un máximo de 73.10%, con una media de 52.33%. En términos de la calificación del CU, se destaca que el 83.33% de los sistemas de riego por aspersión evaluados se consideran inaceptables, mientras que el 16.67% se clasifica como pobre. Es relevante señalar que la evaluación número 5 muestra el valor más bajo de CU y coincide con la evaluación en la que se identificaron la mayor cantidad de Factores limitantes que afectan la uniformidad del sistema de riego.

De manera similar, en la [Tabla 4](#), se pueden apreciar los resultados de las 6 evaluaciones, donde el UD exhibe un rango de valores desde un mínimo de 29.60% hasta un máximo de 65.90%, con una media de 46.93%. En cuanto a la calificación del UD, todos los sistemas de riego por aspersión evaluados se consideran inaceptables. Es importante indicar que, al igual que con el CU, la evaluación número 5 arroja el valor más bajo de UD y se asocia con la identificación

TABLA 4. Resultados de CU y UD, de los sistemas de riego por aspersión evaluados

Id. Del Sistema	Método de Riego	CU	Calificación	UD	Calificación	Identificación de afectación					
						A)	B)	C)	D)	E)	F)
1	1	59.20	< 70 Inaceptable	36.50	< 70 Inaceptable	✓			✓	✓	
2	1	73.10	70 - 80 Pobre	65.90	< 70 Inaceptable				✓	✓	
3	1	55.40	< 70 Inaceptable	52.60	< 70 Inaceptable			✓	✓	✓	
4	1	52.70	< 70 Inaceptable	56.90	< 70 Inaceptable		✓	✓	✓	✓	
5	1	29.90	< 70 Inaceptable	29.60	< 70 Inaceptable	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	1	43.70	< 70 Inaceptable	40.10	< 70 Inaceptable		✓		✓		✓

de un mayor número de Factores limitantes que influyen en la uniformidad del sistema de riego.

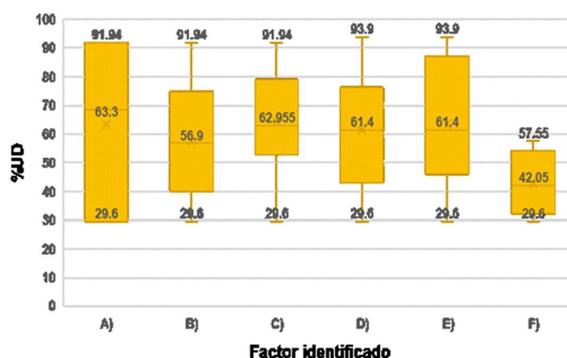
En lo concerniente a los sistemas de riego localizado solo se evaluó las UD de caudal (UDq) y UD de presión (UDp), a continuación, en la [Tabla 5](#) se presentan los resultados de las evaluaciones hidráulicas a los sistemas de riego localizado.

En la [Tabla 5](#), se presentan los resultados de las 10 evaluaciones realizadas en sistemas de riego presurizados localizado. Es destacable que la UDq muestra un rango de valores desde un mínimo de 44.00% hasta un máximo de 93.10%, con una media de 72.75%. En cuanto a la calificación del UDq, se observa que el 40% de los sistemas se considera inaceptable, el 20% se clasifica como pobre, el 10% como aceptable y el 30% se considera bueno. Es relevante señalar que la evaluación número 15 registra el valor más bajo de UDq y coincide con una de las evaluaciones en las que se identificó la mayor cantidad de Factores limitantes que influyen en la uniformidad del sistema de riego.

De manera similar, en la [Tabla 5](#), se pueden apreciar los resultados de las 10 evaluaciones, donde la UDP presenta un rango de valores desde un mínimo de 25.64% hasta un máximo de 96.85%, con una media de 70.33%. En lo que respecta a la calificación del UDP, se destaca que el 50% de los sistemas se considera inaceptable, el 20% es aceptable, el 10% se clasifica como bueno y el 20% se considera excelente. Es importante mencionar que la evaluación número 13 arroja el valor más bajo de UDP y coincide con una de las evaluaciones en las que se identificó la mayor cantidad de Factores limitantes que afectan la uniformidad del sistema de riego.

Se examinó la variabilidad de la UD en cada una de las evaluaciones relacionadas con los Factores limitantes detectados en el estudio. En la [Figura 3](#), se puede apreciar en qué factores limitantes se registró la mayor variabilidad de datos y en cuáles fue menor.

Al observar la [Figura 3](#), se evidencia que el factor C del sistema de riego muestra la menor variación en los valores de UD en las evaluaciones en las que este factor estuvo presente. En contraste, se puede notar



Nota: Diagrama de caja y bigotes representando la dispersión y simetría de la medida de las UD en cada una de las evaluaciones relacionadas con los factores limitantes detectados. La estrella representa la media de las UD de cada uno de los factores limitantes. El lado superior e inferior representa el cuartil superior e inferior respectivamente. El bigote superior y el inferior representa el valor máximo y mínimo respectivamente identificado en cada factor.

FIGURA 3. Variabilidad de UD en factores limitantes identificados en cada una de las evaluaciones.

que el factor A en el campo dentro del sistema es el que presentó la mayor variabilidad en los valores de UD en la [Figura 3](#).

Los resultados anteriores coinciden con los estudios de [Bohórquez et al. \(2015\)](#), donde se identificaron deficiencias que impactan la UD del riego, dentro de las cuales se incluyen: la regulación inapropiada de las presiones en las subunidades de riego, la falta o el deterioro de manómetros en puntos críticos de la red, emisores parcialmente obstruidos debido a la presencia de precipitados químicos en sistemas con un control deficiente del pH del agua o la solución fertilizante, especialmente al final de la temporada de riego, y fugas de agua en la red.

Durante el desarrollo de esta investigación se pudo comprobar la afirmación de [Rocha \(2019\)](#) al plantear que “Los procesos de intervención en riego, no deben estar centrados en la infraestructura hidráulica como fin, la construcción de infraestructura de riego

TABLA 5. Resultados de UDq y UDP, de los sistemas de riego localizado evaluados

Id. Del Sistema	Método de Riego	UDq	Calificación	UDP	Calificación	Identificación de afectación					
						A)	B)	C)	D)	E)	F)
7	2	54.06	< 70 Inaceptable	67.84	< 70 Inaceptable	✓	✓	✓	✓		
8	2	93.90	85 - 95 Buena	95.65	> 95 Excelente				✓	✓	
9	2	57.55	< 70 Inaceptable	37.44	< 70 Inaceptable		✓	✓			✓
10	2	91.94	85 - 95 Buena	78.57	80 - 85 Aceptable	✓	✓	✓	✓	✓	
11	2	91.07	85 - 95 Buena	80.00	80 - 85 Aceptable			✓			✓
12	2	68.36	< 70 Inaceptable	57.66	< 70 Inaceptable	✓	✓	✓	✓		
13	2	80.49	80 - 85 Aceptable	25.64	< 70 Inaceptable		✓	✓	✓		
14	2	74.83	70 - 80 Pobre	96.85	> 95 Excelente		✓	✓	✓	✓	
15	2	44.00	< 70 Inaceptable	93.70	85 - 95 Buena		✓	✓	✓	✓	✓
16	2	71.28	70 - 80 Pobre	69.94	< 70 Inaceptable			✓	✓	✓	

presurizado no implica el cambio tecnológico por sí mismo. En este sentido, los procesos de intervención para la innovación tecnológica en riego deben poner especial atención al proceso de adopción de la tecnología por parte de los agricultores, brindando el soporte técnico requerido de manera oportuna”.

CONCLUSIONES

- El resultado de este estudio refleja claramente que la “Ausencia de sistema de filtrado” (identificado en 14 de las 16 evaluaciones realizadas) es el factor más influyente en la calidad del riego, lo cual repercute en su gestión eficiente debido a que implica destinar más tiempo de riego para compensar la mala uniformidad que este factor provoca en la distribución de la dosis de riego.
- El valor promedio del Coeficiente de Uniformidad que se obtuvo para el riego por aspersión fue de 52.3%, lo cual se categoriza como INACEPTABLE. Esta categoría es también aplicable al valor promedio de Uniformidad de Distribución que se obtuvo para estos sistemas (46.9%).
- El comportamiento de la Uniformidad de Distribución de Presiones en los Sistemas de Riego Localizado alcanzó valores superiores al de los sistemas de aspersión con un promedio de 70.3%. Este valor estuvo muy cercano al valor promedio de la Uniformidad de Distribución del Caudal que se obtuvo para estos sistemas (72.7%), lo cual demuestra una mayor garantía en la calidad del riego con esta técnica en comparación con la aspersión. No obstante, el 40% de los sistemas evaluados categoriza también como INACEPTABLE.
- Los factores que más incidieron en la calidad del riego localizado fueron el “Desconocimiento de procedimiento de administración, operación y mantenimiento del sistema de riego” y la “Ausencia de sistema de filtrado”

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOHÓRQUEZ, B.J.M.; CONTRERAS, P.J.I.; GAVILÁN, Z.P.: “Análisis de la uniformidad del riego en cultivos de fresa”, *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, (988): 710-718, 2015, ISSN: 0002-1334.

BUENDÍA, E.J.C.; PALACIOS, V.E.; CHÁVEZ, M.J.; ROJAS, M.B.: “Impacto del funcionamiento de los sistemas de riego presurizados en la productividad de ocho cultivos, en Guanajuato, México”, *Agrociencia*, 38(5): 477-486, 2004, ISSN: 2521-9766.

CHRISTIANSEN, J.E.: *Irrigation by Sprinkling*, Ed. University of California, Bullet 670. University

of California. Agricultural Experimental Station, USA, 1942.

CLAUDIO BENITES, B.J.L.: *Diseño para el mejoramiento de la conducción del sistema de riego por aspersión “5 de junio”, directorio “Senderos por la Vida, [en línea]*, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Tesis (en opción a la obtención del título de Ingeniero Civil), Ambato, Ecuador, Publisher: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica..., 2021, Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/31999>.

CORBARI, C.; MANCINI, M.: “Irrigation efficiency optimization at multiple stakeholders’ levels based on remote sensing data and energy water balance modelling”, *Irrigation Science*, 41(1): 121-139, 2023, ISSN: 0342-7188, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-022-00780-4>.

CUNHA, F.F.; PORDEUS, R.V.; MARACAJÁ, P.B.; DE FREITAS, R.; DE MESQUITA, L.X.: “Manejo de micro-irrigação baseado em avaliação do sistema na cultura do meloeiro”, *Revista Caatinga*, 21(3): 147-155, 2008, ISSN: 0100-316X.

ERAZO, M.E.; MURILLO-SANDOVAL, S.P.J.; RAMÍREZ, G.J.G.; BENAVIDES, K.Q.; SÁNCHEZ, A.E.: “IS-SAR: an irrigation scheduling web application for Hass avocado orchards based on Sentinel-1 images”, *Irrigation Science*, : 1-15, 2023, ISSN: 0342-7188, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-023-00889-0>.

ESCRIBANO, R.R.B.: “Una visión sostenibilista sobre la escasez del agua dulce en el mundo”, *Revista Internacional de Tecnología, Sostenibilidad y Humanismo*, 2: 85-107, 2007, ISSN: 1988-0928.

ESPINOSA, E.B.; FLORES, M.H.; ASCENCIO, H.R.; CARRILLO, F.G.: “Diseño de un sistema de riego hidrante parcelario con los métodos por Turnos y Clement: análisis técnico y económico”, *Terra Latinoamericana*, 34(4): 431-440, 2016, ISSN: 0187-5779.

EVETT, S.R.; STONE, K.C.; SCHWARTZ, R.C.; O’SHAUGHNESSY, S.A.; COLAIZZI, P.D.; ANDERSON, S.K.; ANDERSON, D.J.: “Resolving discrepancies between laboratory-determined field capacity values and field water content observations: Implications for irrigation management”, *Irrigation Science*, 37: 751-759, 2019, ISSN: 0342-7188, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-019-00644-4>.

FAO: *Water, [en línea]*, Inst. FAO org., Roma, Italia, 2022, Disponible en: <https://www.fao.org/water/es/>.

FONTANET, M.; FERNÁNDEZ, G.D.; RODRIGO, G.; FERRER, F.; VILLAR, J.M.: “Combined simulation and optimization framework for irrigation scheduling in agriculture fields”,

- Irrigation Science*, 40(1): 115-130, 2022, ISSN: 0342-7188, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-021-00746-y>.
- GAD PORTOVIEJO-ECUADOR: *Diagnóstico por componentes ambiental socio cultural económico institucional y diagnóstico integrado, [en línea]*, Inst. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Portoviejo, Portoviejo, Manabí, Ecuador, 2015, Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1360000200001_FASE%201%20DIAGNOSTICO%20PDGAD%20PORTOVIEJO_06-04-2016_11-10-05.pdf.
- HERATH, I.; GREEN, S.; HORNE, D.; SINGH, R.; CLOTHIER, B.: “Quantifying and reducing the water footprint of rain-fed potato production, part I: measuring the net use of blue and green water”, *Journal of Cleaner Production*, 81: 111-119, 2014, ISSN: 0959-6526.
- ISO 15886-3: *Agricultural irrigation equipment, Sprinklers. Parte 3: Characterization of distribution and test methods, [en línea]*, Inst. International Organization for Standardization (ISO), 6-12 p., 2021, Disponible en: <https://www.iso.org/standard/78122.html>
- LAVALLE, C.L.D.: *Evaluación del sistema de riego presurizado en el cultivo de palto, aplicando el software SIGOPRAM, Centro Experimental Tumpis, Tumbes–2020, [en línea]*, Universidad Nacional de Tumbes, Tesis (en opción al Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola), Tumbes, Peru, publisher: Universidad Nacional de Tumbes, 2020, Disponible en: <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/22>.
- LI, Q.; WU, Z.; TAO, H.; AIHEMAITI, M.; JIANG, Y.; YANG, W.: “Establishment of prediction models of trapped sediment mass and total filtration efficiency of pre-pump micro-pressure filter”, *Irrigation Science*, 40(2): 203-216, 2022, ISSN: 0342-7188, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-022-00770-6>.
- MAATE-ECUADOR: *Plan nacional de riego y drenaje 2021 – 2026, [en línea]*, Inst. Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica (MAATE), Quito, Ecuador, 2021, Disponible en: <https://nextcloud.ambiente.gob.ec/index.php/s/FdPFjdAcRWZpQ28>.
- MAGAP-ECUADOR: *Manual de Riego Parcelario, [en línea]*, Inst. Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP), Quito, Ecuador, 2015, Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Manual-de-riego-parcelario.pdf>.
- MARTÍ, P.; SHIRI, J.; ROMÁN, A.; TURÉGANO, J.V.; ROYUELA, A.: “Analysis of local head losses in microirrigation lateral connectors based on machine learning approaches”, *Irrigation Science*, 41(6): 783-801, 2023, ISSN: 0342-7188, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-023-00852-z>.
- MASSERONI, D.; GANGI, F.; GHILARDELLI, F.; GALLO, A.; KISEKKA, I.; GANDOLFI, C.: “Assessing the water conservation potential of optimized surface irrigation management in Northern Italy”, *Irrigation Science*, 42(1): 75-97, 2024, ISSN: 0342-7188, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-023-00876-5>.
- MERRIAM, J.L.; KELLER, J.: *Farm irrigation system evaluation: A guide for management.*, Ed. Utah State University, Utah State University, Logan, Utah, USA, publisher: Utah State University., 1978.
- MONGE, R.M.A.: *Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión*, Ed. Mundi-Prensa, Agrícola Española S.A. ed., Madrid, España, 2018.
- NIETO, C.; PAZMIÑO, C.E.; ROSERO, S.; QUISHPE, B.: “Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana”, *Siembra*, 5(1): 51-70, 2018, ISSN: 2477-8850.
- PÉREZ, M.M.V.: *Diseño de sistemas de riego por goteo a nivel parcelario en el Proyecto Quebrada la Mina, Fraijanes, Sabanilla, Alajuela, [en línea]*, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Tesis (en opción al Informe de Trabajo Final de Graduación), Cartago, Costa Rica, Publisher: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2022, Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/14041/TF9284_BIB307381_Vanessa_Perez_Maamoros.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- REYES, R.R.; ROLDÁN, C.J.; BAEZA, C.R.J.; CONTRERAS, P.J.I.; LÓPEZ, S.J.G.; MORENO, P.M.F.: “Estudio del atascamiento de goteros mediante distintos índices de calidad del riego usando aguas regeneradas”, *Ingeniería del agua*, 26(1): 19-36, 2022, ISSN: 1134-2196, DOI: <https://doi.org/10.4995/ia.2022.15998>.
- ROCHA, R.: “Innovación y adopción de tecnologías de uso eficiente de agua: El caso del riego presurizado en el municipio de Cliza”, *Revista de Agricultura*, 60: 5-12, 2019.
- RODRÍGUEZ, H.A.; HERNÁNDEZ, R.B.; PALERM, V.J.: “El pequeño riego en el río Tlapaneco: experiencias sobre la tradición y la modernidad”, *Cuicuilco*, 21(60): 169-194, 2014, ISSN: 0185-1659.

- SALASSIER, B.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C.: *Manual de Irrigação*, Ed. Universidad Federal Viçosa, 8th ed.). https://www.academia.edu/45657937/Manual_de_Irrig%C3%A7%C3%A3o_8_ed_Salassier_Bernardo_Editora_UFV ed., Viçosa, MG, Brasil, 2008.
- SÁNCHEZ, L.D.; LATORRE, J.; VALENCIA, A.V.: “Mejoramiento de la calidad del agua de riego por filtración en múltiples etapas (FiME)”, *Agronomía Colombiana*, 27(3): 407-415, 2009, ISSN: 0120-9965.
- SÁNCHEZ, O.M.A.: *Determinación de la eficiencia del riego presurizado en los sistemas de producción agrícola del cantón Portoviejo*, Inst. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Manta, Manabí, Ecuador, 2023.
- SANTISTEBAN, P.J.; DÍAZ, Y.J.P.: *Evaluación del sistema de riego por goteo del cultivo de esparrago con fines de mejoramiento y ampliación en el Fundo “Santo Tomas” de Agrícola Mezcu SAC Jayanca, Lambayeque*, [en línea], Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Tesis (en opción al título profesional de: Ingeniero(A) Agrícola), Lambayeque, Perú, Publisher: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2022, Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10422>.
- SOKOL, J.; NARAIN, J.; COSTELLO, J.; MCLAURIN, T.; KUMAR, D.; WINTER, A.G.: “Analytical model for predicting activation pressure and flow rate of pressure-compensating inline drip emitters and its use in low-pressure emitter design”, *Irrigation Science*, 40(2): 217-237, 2022, ISSN: 0342-7188, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-022-00771-5>.
- UNE-EN 15097: *Técnicas de riego. Riego localizado. Evaluación hidráulica*, [en línea], Inst. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), norma española, España, 2007, Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0039308>.
- VANELLA, D.; RAMÍREZ, C.J.M.; SACCO, A.; LONGO, M.G.; CIRELLI, G.L.; CONSOLI, S.: “Electrical resistivity imaging for monitoring soil water motion patterns under different drip irrigation scenarios”, *Irrigation Science*, 39(1): 145-157, 2021, ISSN: 0342-7188, DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-020-00699-8>.
- WORLD BANK: *Annual freshwater withdrawals, agriculture. Obtenido de Annual freshwater withdrawals, agriculture (% of total freshwater withdrawal)*, [en línea], World Bank, 2020, Disponible en: https://data.worldbank.org/indicator/er.h2o.fwag.zs?name_desc=false.
- XUE, S.; GE, M.; WEI, F.; ZHANG, Q. (2023) Sprinkler irrigation uniformity assessment: Relational analysis of Christiansen uniformity and Distribution uniformity. *Irrigation and Drainage*, 72(4): 910-921. ISSN: 1531-0353. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/ird.2837>.
- ZUBELZU, S.; PANIGRAHI, N.; THOMPSON, A.J.; KNOX, J.W. (2023) Modelling water fluxes to improve banana irrigation scheduling and management in Magdalena, Colombia. *Irrigation Science*, 41(1): 69-79. ISSN: 0342-7188. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00271-022-00818-7>.

Mario Alejandro Sánchez-Olivo Inv., Ministerio de ambiente, agua y transición ecológica (MAATE). Fomento a la Gestión de Agua Potable, Saneamiento, Riego y Drenaje (FOGAPRYD), Dirección: Víctor Vélez y Avenida Reales Tamarindos. 130103. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Ramón Pérez-Leira, Dr.C. Prof., Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura. Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura. Dirección: Avenida Circunvalación - Vía San Mateo. Código postal: 130214 Manta, Manabí. Ecuador, e-mail: mariosanchezolivo@gmail.com.