



INDICADORES DE DESEMPEÑO DEL RIEGO: CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS MÓDULOS INSTALADOS EN EL CULTIVO DE CACAO

WATERING PERFORMANCE INDICATORS: HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF THE MODULES INSTALLED IN THE CACAO CULTIVATION

Mónica Del Rocío Munzón Quintana ^{1*}

E-mail: mmunzon@uagraria.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4036-5632>

Euro Yovanny Orellana Montesdeoca ¹

E-mail: orellana.montesdeoca.euro@uagraria.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1180-4874>

María Soledad Fernández Torres ¹

E-mail: mfernandez@uagraria.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3732-6461>

Marcela de Jesús Villegas Alvario ¹

E-mail: mvillegas@uagraria.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9306-6584>

¹Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Munzón Quintana, M. R., Orellana Montesdeoca, E. Y., Fernández Torres, M. S., & Villegas Alvario, M. J. (2026). Indicadores de desempeño del riego: características hidráulicas de los módulos instalados en el cultivo de cacao. *Universidad y Sociedad* 18(1). e5476.

RESUMEN

La presente investigación evalúa el desempeño del sistema de riego por aspersión en cacao (*Theobroma cacao* L.), en la finca "Tres Hermanos", cantón Simón Bolívar, Guayas, Ecuador, sobre 2,27 ha. Se examina la uniformidad del riego y la eficiencia hidráulica de dos aspersores: 5022 CAP VERDE y Xcel-Wobbler, para analizar su comportamiento operativo, eficiencia de aplicación y adecuación del diseño frente a los requerimientos hídricos del cultivo. Se instalaron módulos de 16 aspersores por tipo, con distancias de 12 x 12 m para el 5022 CAP VERDE y 9 x 9 m para el Xcel-Wobbler. Se realizaron mediciones de caudal, presión de trabajo y volumen recolectado, siguiendo Netafim (2016) para indicadores: Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC), Uniformidad de Distribución (UD) y Eficiencia de Aplicación (Ea). Los resultados: CUC 78,45% y UD 92,92% para el 5022 CAP VERDE; CUC 78,66% y UD 87,11% para el Xcel-Wobbler. Según Netafim (2016), son uniformidades de aceptables a excelentes. Ea: 96,92% (5022 CAP VERDE) y 96,24% (Xcel-Wobbler), evidenciando uso eficiente del agua y cobertura homogénea. Ambos equipos muestran comportamiento hidráulico adecuado, optimizando recursos hídricos y energéticos. Se recomienda ajustar presiones y espaciamientos para mayores uniformidades, especialmente ante condiciones adversas; incorporar monitoreo y

calibración periódica para distribuir mejor el agua, reduciendo evaporación o percolación y aumentando la productividad. Los sistemas evaluados presentan rendimiento hidráulico eficiente y distribución de agua aceptable, con eficiencias >90%, respaldando prácticas de gestión hídrica sostenibles en el cacao ecuatoriano.

Palabras clave: Aspersor, Análisis hidráulico, Coeficiente de Uniformidad, Uniformidad de riego.

ABSTRACT

This study evaluates the performance of a sprinkler irrigation system in cacao (*Theobroma cacao* L.) grown on the "Tres Hermanos" farm, in the Simón Bolívar canton, Guayas Province, Ecuador, over 2.27 ha. It examines irrigation uniformity and hydraulic efficiency of two sprinkler models, 5022 CAP VERDE and Xcel-Wobbler, to analyze their operating behavior, application efficiency, and the system design's adequacy to the crop's water requirements. Experimental modules comprised 16 sprinklers per type, with 12 x 12 m spacing for the 5022 CAP VERDE and 9 x 9 m for the Xcel-Wobbler. Measurements of flow, operating pressure, and collected field water were conducted following Netafim (2016) guidelines and calculations proposed by Christiansen (1942) and Keller (1990) to determine key performance indicators: Christiansen's

Uniformity Coefficient (CUC), Distribution Uniformity (UD), and Application Efficiency (Ea). Results showed CUCs of 78.45% and UD of 92.92% for the 5022 CAP VERDE, and CUC 78.66% and UD 87.11% for the Xcel-Wobbler. According to Netafim (2016), these values range from acceptable to excellent. Ea was 96.92% for the 5022 CAP VERDE and 96.24% for the Xcel-Wobbler, indicating efficient use of applied water and homogeneous coverage. Both systems exhibit adequate hydraulic performance, optimizing water and energy resources. It is recommended to adjust operating pressures and sprinkler spacing to achieve higher uniformity, especially under adverse environmental conditions; and to incorporate monitoring and periodic calibration to distribute water more evenly, reducing evaporation or percolation and increasing crop productivity. The evaluated systems show efficient hydraulic performance and acceptable water distribution, with efficiencies over 90%, supporting sustainable water management practices in Ecuadorian cacao production.

Keywords: Sprinkler, Hydraulic Analysis, Uniformity Coefficient, Irrigation Uniformity.

INTRODUCCIÓN

La Agricultura a través del tiempo, mediante la tecnología permite que los sistemas de riego pasen a ser indispensables para que se logre mayor y mejor eficiencia en la productividad de los cultivos (Ramos & Báez, 2013; Romero, 2017). Es importante recalcar que los agricultores no tienen cultura de riego, sino que el agua la vierten al suelo de acuerdo con su criterio o como lo han realizado sus antepasados de manera empírica, sin considerar las características edafológicas del suelo ni las condiciones agrometeorológicas de la zona, lo cual se refleja en la baja productividad de los productos agrícolas (Salazar et al., 2014; Tunick, 2023).

En el Cantón Simón Bolívar, la actividad cacaotera representa una fuente de ingresos para diversas familias y comunidades, y la gestión adecuada del riego emerge como un componente clave para la productividad y la calidad del grano. El cacao es un cultivo que demanda aportes hídricos significativos, especialmente durante etapas fenológicas críticas (establecimiento de flores, llenado de granos y desarrollo reproductivo). En este contexto, la eficiencia en el uso del agua adquiere una relevancia doble: maximizar la productividad y reducir el consumo de agua, frente a condiciones climáticas que pueden presentar variabilidad estacional y eventos extremos (Salazar, et al., 2014)

Las técnicas de riego se consideran tan antiguas como el hombre mismo, ya que desde que este se vio en la

necesidad de hacer uso de la agricultura también ha venido implementando el uso del riego, y conforme va pasando el tiempo ha buscado la forma de hacer más eficiente el uso del agua de riego (Xue et al., 2023).

En la actualidad se han investigado y desarrollado a través de todo el mundo, nuevos métodos y tecnologías más avanzadas en riego, adaptándolas a las diferentes necesidades de las especies que se cultivan en el mundo. Los sistemas de riego son y han sido por lo general esenciales en la producción, tanto a nivel agrícola como pecuario, por eso se ha venido incrementando su importancia y ha propiciado que se incremente la capacitación de los profesionistas en todo el mundo para llevar a cabo este tipo de actividades (Anella, 2021).

Siempre es necesario comprobar, por lo general que se está cumpliendo con lo proyectado en cuanto a los caudales de agua que entregan los emisores y las presiones de operación. Por esta razón se deben hacer evaluaciones al menos dos veces al año de aforo de emisores, esto consiste en determinar el riego por cañón estos valores deben coincidir como lo indicado en los catálogos.

Se debe destacar el avance que han tenido los sistemas de riego que existen en la actualidad, tales como los sistemas de riego por aspersión, en los cuales se puede englobar los aspersores gigantes (cañones), pivotes centrales, lateral rodante o side-roll, lateral semiportátil o de movimiento manual, así como también los sistemas de riego por goteo (Torres, 2017).

Diversos trabajos en la literatura han mostrado que la adecuada planificación y operación del riego en cacao puede influir positiva y significativamente sobre el crecimiento de la planta, la producción y la calidad de los granos, así como sobre la eficiencia del uso del agua (WUE, por sus siglas en inglés) y la resiliencia ante eventos climáticos extremos (Benalcázar, 2020). A pesar de ello, existe una brecha importante de conocimiento respecto a cómo se comportan, bajo condiciones locales de la región de estudio, los sistemas de riego para cacao y qué impactos directos e indirectos generan en variables agronómicas y económicas específicas de una finca (Chávez, 2018). En ese marco, este estudio se propone evaluar de forma holística el sistema de riego de la finca Tres Hermanos, en un intento por describir su diseño y operación actuales, cuantificar su desempeño hídrico y agronómico, y proponer mejoras prácticas y/o tecnológicas que permitan aumentar la eficiencia del riego y la productividad del cultivo sin comprometer la sostenibilidad ambiental (Cedait, 2021).

Esta investigación se orienta a analizar la calidad del riego a partir de los indicadores de desempeño como el

coeficiente de uniformidad de Christiansen, Uniformidad de distribución (UD), y eficiencia de aplicación (Ea) y determinar la relación entre ellos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Al igual que las investigaciones aplicadas, este estudio se fundamentó bajo los métodos teóricos de deducción, inducción y experimental, que hacen posible el planteamiento de la fase empírica a desarrollarse y las recomendaciones posteriores que al final se establezcan, respectivamente.

De acuerdo con el planteamiento de este trabajo, éste se ha considerado de tipo experimental, dado que se evaluará dos tipos de emisores en un sistema de riego subfoliar que han sido fijados mediante fundamentos teóricos, y el análisis de algunos Indicadores de desempeño como coeficiente de uniformidad de Christiansen, Uniformidad de distribución (UD), y eficiencia de aplicación (Ea).

Según Christiansen, considera un coeficiente de uniformidad aceptable a valores por encima del 80% resultado que refleja una correcta aplicación y distribución del agua en el área bajo riego, permitiendo un uso más eficiente del agua disponible maximizando la producción debido a que los cultivos instalados reciben la misma cantidad de agua de acuerdo con sus necesidades hídricas.

Se ha adoptado un índice del grado de uniformidad obtenida para aspersores (Christiansen) de cualquier tamaño, funcionando en ciertas condiciones que se conoce como coeficiente de uniformidad (CU). Este coeficiente está afectado por la relación de tamaño boquilla-presión, por el espaciamiento de los aspersores y por el viento. Se calcula con datos referentes a observaciones en el terreno o niveles que alcanza el agua en botes abiertos colocados a intervalos regulares dentro de un área sujeta a aspersión. Ver tabla 1. Se expresa con la ecuación siguiente (ecuación 1):

$$Cu = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Ia_i - \bar{Ia}|}{\bar{Ia} * n} \right)$$

(1)

Dónde:

Cu: Coeficiente de uniformidad (%)

Ia: Intensidad de aspersión (mm/h)

$\bar{I}$: Intensidad media (mm/h)

Tabla 1. CU% Para riego por aspersión en campo abierto.

92% o mas alto	Excelente uniformidad
88% al 92%	Muy Buena uniformidad
86% al 88%	Buena uniformidad
Mas bajo que 86%	Aceptable para ciertos cultivos

Fuente: Tomado de Netafim (2016).

Según se menciona y expresa en la tabla anterior la Uniformidad de la distribución (UD) es una medida de cuán equitativa o pareja es aplicada el agua a través del campo durante el riego, la UD se expresa en porcentaje entre 0 y 100%, pero en la práctica es por lo general imposible obtener el 100%. Una UD inferior al 70% es considerada deficiente, UD entre 70 y 90% es buena, y UD superior al 90% es excelente. En resumen, una UD deficiente significa que se está aplicando demasiada agua, lo que implica un gasto innecesario, o que el agua aplicada no es suficiente, causando estrés a los cultivos.

Para calcular el coeficiente de Uniformidad de distribución (UD). De acuerdo a lo que indican (Poma & Chipana, 2016) (1990) se obtiene a partir de la siguiente ecuación (ver ecuación 2):

$$UD = \frac{Lmp_{25\% \text{ valores mas bajos}}}{Lmp}$$

(2)



Dónde: $L_{mp25\%}$ valores más bajos= lámina media ponderada de 25% de los valores más bajos de las láminas de riego colectadas.

Flórez (2013) indica que la eficiencia de aplicación de agua irrigada es un parámetro que cuantifica cuanto del agua aplicada es por lo general utilizada. Este parámetro es subdividido en eficiencia de aplicación (E_a), eficiencia de almacenamiento (E_s), pérdida por percolación debajo de la zona radicular (P_p) y déficit de agua en el suelo (D).

La Eficiencia de aplicación (E_a) indica la cantidad de agua incorporada al suelo hasta la profundidad de estudio, en relación con la cantidad total de agua aplicada por el sistema de riego; así, la diferencia entre éstas indica el volumen de agua perdido por percolación o por evaporación. La E_s muestra la relación entre el volumen de agua almacenado y el requerido para una determinada profundidad del suelo, y la diferencia de estos volúmenes es un indicador de déficit.

En conclusión, se puede mencionar que, Eficiencia de aplicación es la relación que existe entre la lámina media de agua recogida por los pluviómetros entre la lámina media descargada por los emisores, se define como (ecuación 3):

$$E_a = L_n / L_b \quad (3)$$

Dónde: E_a = eficiencia de aplicación del aspersor o proporción de agua que llega al suelo (fracción); L_n = lámina media de agua recogida por los pluviómetros (mm); y L_b = lámina media descargada por los emisores (mm).

La población y muestra está ubicada en el cantón Simón Bolívar en la provincia del Guayas, en las coordenadas UTM Y9766465.80- X 687223.53, y tiene las siguientes características climáticas: su clima es tropical y fresco, con marcada diferencia entre el invierno y verano. Está asentada a 45 m.s.n.m., su temperatura promedio es de 23°C y su precipitación promedio anual es de 500 mm, el terreno es por lo general plano, sus principales recursos hidrográficos están formados por los ríos Los Amarillos que nace en las montañas de Chagún y que recibe en su curso las aguas de varios esteros que favorecen para el aumento del caudal, por lo general en invierno.

La técnica cuantitativa de la observación se utilizó en esta investigación en la precipitación horaria de los tipos de emisores en los módulos instalados y el registro de los mismos y por lo general a los aforos de cada uno de los emisores durante el tiempo de riego para establecer la uniformidad y eficiencia del sistema de riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El emisor 5022 CAP VERDE BOQUILLA 3.2 +1.8 MM, es un aspersor de riego aplicado para germinación y/o enfriamiento de hortalizas forrajes, viveros, frutales y otros cultivos de campo abierto. Los aspersores de impacto, garantizan una excelente uniformidad de cultivo para el riego en campo abierto, con un espaciamiento entre aspersores de hasta 12x13 metros. Con distribución eficiente y precisa representan una opción ideal para enfriamiento de huertos y germinación de cultivos. Además de la distribución del agua por lo general uniforme con la máxima eficiencia de uso del agua y rendimiento duradero y mantenimiento que ahorra mano de obra.

Evaluación de los aspersores seleccionados en campo.

Se instala un módulo de 16 aspersores para evaluar caudales, presiones y establecer ventajas y desventajas de cada uno de los emisores seleccionados con la seguridad de mantener el espaciamiento de 12 metros entre aspersores por 12 metros entre laterales para el aspersor 5022 CAP VERDE BOQUILLA 3.2 +1.8 MM y 9 metros entre aspersores por 9 metros entre laterales para el aspersor Xcel-Wobbler.

Para la evaluación de los sistemas de riego en campo se sigue la metodología descrita en el apartado Selección de aspersores (Sprinkler Selection) de Netafim (2016).

1. Se instala una rejilla de 4 X 4 (16 aspersores) de acuerdo con el diseño planificado - espaciamiento entre aspersores en misma hilera y espaciado entre laterales.

La inspección debe realizarse en una superficie plana, campo nivelado y libre de obstrucciones. 9 áreas rectangulares, cada una definida por 4 rociadores en sus 4 esquinas.

En la Figura 1 a continuación se puede observar la representación de los 16 aspersores instalados en el campo a 12 m entre aspersores X 12 m entre laterales para el caso del aspersor 5022 CAP VERDE y a 9 m entre aspersores por 9 m entre laterales en el caso del aspersor Xcel-Wobbler CABEZA LOCA FALDA M.



Fig 1. Esquema de módulo montado para evaluación de aspersores.

2. Se selecciona el área central y se muestra un patrón de cuadrícula, se instalan pluviómetros o latas colectoras, donde la distancia entre ellos es:

- 1 metro o menos en ambos ejes para rociadores (caudal ≥ 200 l/h)
- $\frac{1}{2}$ metro o menos en ambos ejes para microaspersores (caudal < 200 l/h)

Todos los pluviómetros/recipientes de recogida deben ser idénticos y estar colocados en el campo en una posición nivelada y estable.

Ilustración 2. Área central del módulo para ubicar bidones y coleccionar volúmenes de precipitación.

3. El sistema del cual la imagen se ha sacado propiamente funciona durante 1 hora en condiciones normales de funcionamiento. Ver figura 2.

El efecto del viento sobre la uniformidad de la distribución es impredecible.

Para una medición precisa, el sistema no debe operarse bajo condiciones de viento.

4. Se mide el nivel del agua recolectada en cada medidor o lata y los resultados (en ml o cc), se anotan como lista, de mayor a menor.

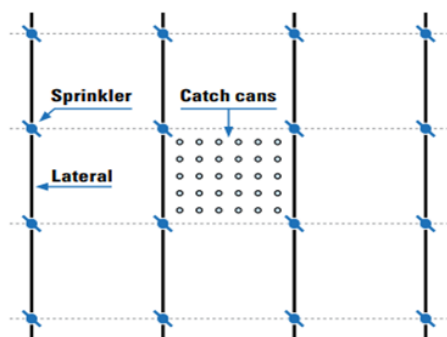


Fig. 2. Área central del módulo para ubicar bidones y coleccionar volúmenes de precipitación.

Cálculo Del Coeficiente De Uniformidad % CU.

Se utilizan los registros de los niveles de agua recogidos por lo general en cada bidón (ml o cc) [a], tanto para el módulo de aspersión con aspersor **5022 CAP VERDE** y el módulo de aspersor **Xcel-Wobbler**. Ver tabla 2 y 3.

Tabla 2. Volúmenes recogidos en los bidones de aspersor 5022 CAP VERDE.

Volumen recogido en el bidon (ml o cc)					
75	115	150	155	100	70
130	150	150	160	150	145
130	185	200	155	145	165
160	165	180	155	140	145
75	100	150	155	115	100
80	90	145	160	100	75

Nota: En el cuadro anterior se observan los 36 valores de precipitación recogidos en el módulo de riego del emisor **5022 CAP VERDE**.

Tabla 3. Volúmenes recogidos en los bidones de aspersor Xcel-Wobbler.

Volumen recogido en el bidón (ml o cc)					
45	20	40	45	51	75
40	25	40	45	60	51
50	35	25	52	40	51
48	40	50	25	45	50
48	35	30	35	30	40
75	50	35	35	40	50

Nota: Se observan los 36 valores de precipitación recogidos en el módulo de riego del emisor **Xcel-Wobbler**. Ver tabla 4.

- 2. Se suman todos los números de la columna [a] para cada.
- 3. La suma se divide por el número de calibres o latas colocadas en el campo. Esto proporciona el promedio de aplicación neta del área estudiada [b].
- 4. La aplicación neta promedio del área encuestada [b] se resta de la cantidad de agua recolectada en cada calibre o lata (ml o cc) [a]. Cada resultado, ya sea mayor o menor que la aplicación neta promedio, es registrado como un número positivo en la columna [c].
- 5. Se suman todas las desviaciones de la aplicación [c].
- 6. La suma se divide por el número de calibres/latas colocadas en el campo. Esto proporciona el promedio de la desviación de la aplicación neta promedio del área encuestada [d].
- 7. La desviación promedio de la aplicación neta promedio [d] se divide por la aplicación neta promedio del área encuestada [b] y el resultado se resta de 1. Esto proporciona la CU del área encuestada como un porcentaje (%) [e].

Tabla 4: CU% medido en el módulo de aspersor de 5022 CAP VERDE

Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC)			
Lecturas	a) Volúmenes (ml)	$\sum (X_i - \bar{X})^2$	c)
1	75.00	-58.59	58.89
2	130.00	-3.89	3.89
3	130.00	-3.89	3.89
4	160.00	26.11	26.11
5	75.00	-58.89	58.89
6	80.00	-53.89	53.89
7	115.00	-18.89	18.89
8	150.00	16.11	16.11



9	185.00	51.11	51.11
10	165.00	31.11	31.11
11	100.00	-33.89	33.89
12	90.00	-43.89	43.89
13	150.00	16.11	16.11
14	150.00	16.11	16.11
15	200.00	66.11	66.11
16	180.00	46.11	46.11
17	150.00	16.11	16.11
18	145.00	11.11	11.11
19	155.00	21.11	21.11
20	160.00	26.11	26.11
21	155.00	21.11	21.11
22	155.00	21.11	21.11
23	155.00	21.11	21.11
24	160.00	26.11	26.11
25	100.00	-33.89	33.89
26	150.00	16.11	16.11
27	145.00	11.11	11.11
28	140.00	6.11	6.11
29	115.00	-18.89	18.89
30	100.00	-33.89	33.89
31	70.00	-63.89	63.89
32	145.00	11.11	11.11
33	165.00	31.11	31.11
34	145.00	11.11	11.11
35	100.00	-33.89	33.89
36	75.00	-58.89	58.89
b) Promedio	133.89	d) Promedio	28.86
e) CUC	78.45		

Nota: El valor obtenido de Coeficiente de Uniformidad de Christiansen es de 78.45% que según la tabla de rangos establecida por Netafim (2016) está por debajo del 86% (Aceptable para ciertos cultivos de bajo valor). Ver tabla 5.

Tabla 5: CU% medido en el módulo de aspersor Xcel-Wobbler.

Coeficiente de Uniformidad de Chiatiansen (CUC)			
LECTURAS	a) Volúmenes (ml)	Xi- Xprom	c)
1	45.00	1.92	1.92
2	40.00	-3.08	3.08
3	50.00	6.92	6.92
4	48.00	4.92	4.92
5	48.00	4.92	4.92
6	75.00	31.92	31.92
7	20.00	-23.08	23.08
8	25.00	-18.08	18.08

9	35.00	-8.08	8.08
10	40.00	-3.08	3.08
11	35.00	-8.08	8.08
12	50.00	6.92	6.92
13	40.00	-3.08	3.08
14	40.00	-3.08	3.08
15	25.00	-18.08	18.08
16	50.00	6.92	6.92
17	30.00	-13.08	13.08
18	35.00	-8.08	8.08
19	45.00	1.92	1.92
20	45.00	1.92	1.92
21	52.00	8.92	8.92
22	25.00	-18.08	18.08
23	35.00	-8.08	8.08
24	35.00	-8.08	8.08
25	51.00	7.92	7.92
26	60.00	16.92	16.92
27	40.00	-3.08	3.08
28	45.00	1.92	1.92
29	30.00	-13.08	13.08
30	40.00	-3.08	3.08
31	75.00	31.92	31.92
32	51.00	7.92	7.92
33	51.00	7.92	7.92
34	50.00	6.92	6.92
35	40.00	-3.08	3.08
36	50.00	6.92	6.92
b) Promedio	43.08	d) Promedio	9.19
e) CUC	78.66		

Nota: Al igual que en el caso anterior, el coeficiente de Uniformidad (CU) dio como resultado un valor Inferior al 86%, según la tabla de CU% de (Netafim, 2016), que el sistema es “aceptable solo para ciertos cultivos de bajo valor”.

Cálculo de la Uniformidad De Distribución % UD.

1. Se aforan cada uno de los aspersores con ayuda de una manguera de jardín, un balde y un cronometro. Ver tabla 6 y 7 para los valores.

Tabla 6. Caudal medido en el módulo de aspersor de 5022 CAP VERDE.

Caudal medido (l/min)			
17.53	19.3	15.55	16.1
19.5	19.3	16.3	16.75
16.1	16.3	16.22	16.15
17.4	18.36	17.56	16.95

Tabla 7. Caudal medido en el módulo de aspersor Xcel-Wobbler.

Caudal medido (l/min)			
6	7	7.5	7.3
7.8	5.4	7	6.95
7.35	7.5	7	7.4
7.6	8.1	9.3	7.2

Nota: Estos caudales medidos son en litros por minuto son llevados a litros por hora para trabajar con el caudal medido del emisor.

Cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC).

1. Se utilizan los registros de los niveles de agua recogidos en cada manómetro o bidón (mm) [a].
2. Se suman todos los números de la columna [a].
3. La suma se divide por el número de calibres o latas colocadas en el campo. Esto proporciona el promedio aplicación neta del área estudiada [b].
4. La aplicación neta promedio del área encuestada [b] se resta de la cantidad de agua recolectada encada calibre o lata (mm) [a]. Cada resultado, ya sea mayor o menor que la aplicación neta promedio, se registra como un número positivo en la columna [c].
5. Se suman todas las desviaciones de la aplicación [c].
6. La suma se divide por el número de calibres/latas colocadas en el campo. Esto proporciona el promedio desviación de la aplicación neta promedio del área encuestada [d].
7. La desviación promedio de la aplicación neta promedio [d] se divide por la aplicación neta promedio del área encuestada [b] y el resultado se resta de 1. Esto proporciona la CU del área encuestada como un porcentaje (%) [e]. Ver tabla 8 y 9.

Tabla 8. CUC% en módulo de aspersor 5022 CAP VERDE.

CALCULO DE CUC		
LECTURAS	Volumenes (ml)	Xi- Xprom
1	1051.80	19.16
2	1170.00	137.36
3	966.00	66.64
4	1044.00	11.36
5	1158.00	125.36
6	1158.00	125.36

7	978.00	54.64
8	1101.60	68.96
9	933.00	99.64
10	978.00	54.64
11	973.20	59.44
12	1053.60	20.96
13	966.00	66.64
14	1005.00	27.64
15	969.00	63.64
16	1017.00	15.64
b) Promedio	1032.00	63.57
e) CUC	938.442	

Tabla 9. CUC% en módulo de aspersor Xcel-Wobbler.

CALCULO DE CUC		
LECTURAS	Volumenes (ml)	Xi- Xprom
1	360.00	84.00
2	468.00	24.00
3	441.00	3.00
4	456.00	12.00
5	420.00	24.00
6	324.00	120.00
7	450.00	6.00
8	486.00	42.00
9	450.00	6.00
10	420.00	24.00
11	420.00	24.00
12	558.00	114.00
13	438.00	6.00
14	417.00	27.00
15	444.00	0.00
16	432.00	12.00
b) Promedio	436.50	33.00
e) CUC	92.4399	

Cálculo del coeficiente de programación SC.

1. Se utilizan los registros de los niveles de agua recogidos por lo general en cada bidón (ml o cc).
2. Se suman todos los números de la columna de volúmenes. (**SUM. TOTAL**)
3. El 5% más bajo de los números en la columna se suma (**SUM. 5%**).
4. La suma de todos los números en la columna se divide por el número de calibres o latas colocadas en el campo.

Esto proporciona la aplicación neta promedio de toda el área evaluada. (**Promedio Total**).

5. La suma del 5% más bajo de los números en la columna se divide por el 5% del número de calibres o latas colocadas en el campo. Esto proporciona la aplicación neta promedio del 5% de los números más bajos en el área evaluada (**Promedio 5%**).

6. La aplicación neta promedio de toda el área evaluada se divide para la aplicación neta promedio del 5% de los números más bajos. Esto proporciona el valor **SC**.

Ver tabla 10 y 11.

Tabla 10. SC en módulo de aspersor 5022 CAP VERDE.

CALCULO DE SC5%	
LECTURAS	Volumenes (ml)
1	75.00
2	130.00
3	130.00
4	160.00
5	75.00
6	80.00
7	115.00
8	150.00
9	185.00
10	165.00
11	100.00
12	90.00
13	150.00
14	150.00
15	200.00
16	180.00
17	150.00
18	145.00
19	15.00
20	160.00
21	155.00
22	155.00
23	155.00
24	160.00
25	100.00
26	150.00
27	145.00
28	140.00
29	115.00

30	100.00
31	70.00
32	145.00
33	165.00
34	145.00
35	100.00
36	75.00
5%MÁS BAJO	1.80
SUM. TOTAL	4820.00
SUM 5%	175.00
Promedio Total	134.25
Promedio 5%	87.50
SC5%	1.53

Nota: El valor de SC=1.53 Nos indica que, para aplicar la lámina calculada a toda el área del cultivo, necesitaremos 1.5 más del tiempo de riego calculado.

Tabla 11. SC en módulo de aspersor Xcel-Wobbler.

CALCULO DE SC5%	
LECTURAS	Volumenes (ml)
1	45.00
2	40.00
3	50.00
4	48.00
5	48.00
6	75.00
7	20.00
8	25.00
9	35.00
10	40.00
11	35.00
12	50.00
13	40.00
14	40.00
15	25.00
16	50.00
17	30.00
18	35.00
19	45.00
20	45.00
21	52.00
22	25.00
23	35.00

24	35.00
25	51.00
26	60.00
27	40.00
28	45.00
29	30.00
30	40.00
31	75.00
32	51.00
33	51.00
34	50.00
35	40.00
36	50.00
5%MÁS BAJO	1.80
SUM. TOTAL	1551.00
SUM 5%	90.00
Promedio Total	44.25
Promedio 5%	45.00
SC5%	0.98

Nota: El valor de SC=0.98 Nos indica que, para aplicar la lámina calculada a toda el área del cultivo, necesitaremos 1 valor igual de tiempo al tiempo de riego calculado.

Cálculo de la eficiencia de aplicación (Ea).

Aunque las medidas de uniformidad expresan la capacidad que tiene el sistema o equipo de riego en distribuir el agua lo más ecuánime posible en el área irrigada, las medidas de eficiencia, al nivel de la parcela irrigada, expresan relaciones entre los gastos de agua y el área irrigada en deficiencia, resultantes de la decisión del manejo adoptada para atender la demanda de agua del cultivo.

Esa medida de eficiencia puede ser expresa por la siguiente ecuación (4):

(4)

$Ea = 100 \cdot \left(\frac{\sum U}{\sum A} \right)$ En que Ea es la eficiencia de aplicación (%); U es el volumen útil del agua incorporado en la zona del sistema de raíces de la planta; A es el volumen total del agua aplicado, limitado por el pelo contorno del perfil de distribución del agua.

$$Ea = \frac{420.90}{436.50}$$

Ea con aspersor 5022 Cap Verde = 96.92%

Ea con aspersor Xcel Wobbler = 96.24%

$$Ea = \frac{1000.85}{1032.64}$$

DISCUSIÓN

La evaluación de los indicadores hidráulicos permite analizar el grado de eficiencia y uniformidad del sistema de riego implementado en el cultivo de cacao, demostrando que ambos modelos de aspersores —5022 CAP VERDE y Xcel-Wobbler— alcanzan un desempeño operativo aceptable según los estándares internacionales de riego presurizado. Los valores de CUC (78,45% y 78,66%) y UD (92,92% y 87,11%) revelan que, si bien la distribución del agua es uniforme, existen leves variaciones asociadas a factores externos como el viento, la presión de trabajo y el espaciamiento entre emisores.

El análisis evidencia que el aspersor 5022 CAP VERDE ofrece una mayor uniformidad de distribución (UD), lo que indica que su patrón de aspersión se adapta mejor a las condiciones del terreno evaluado. Sin embargo, el Xcel-Wobbler muestra un ligero mejor desempeño en el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC), reflejando una aplicación más constante del caudal en cada punto de la parcela. Ambos equipos alcanzaron eficiencias de aplicación (Ea) superiores al 96%, lo que confirma un uso adecuado del recurso hídrico, minimizando pérdidas por percolación o evaporación.

Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado por Romero (2017) quienes sostienen que valores de uniformidad superiores al 80% garantizan una aplicación eficiente del riego, aunque no siempre implican una humectación óptima del perfil del suelo. Asimismo, en comparación con lo establecido por Netafim (2016), los aspersores evaluados se ubican dentro del rango de “uniformidad buena a excelente” para cultivos de valor medio, como el cacao.

A diferencia de lo señalado por Ramos y Báez (2013), quienes priorizan el alcance del aspersor como criterio principal de selección, los resultados de este estudio destacan que la decisión técnica debe basarse primero en el requerimiento hídrico del cultivo y la infiltración básica del suelo, con el fin de evitar escorrentías o erosión superficial. En este sentido, el diseño hidráulico debe considerar tanto las propiedades físicas del suelo como las condiciones climáticas locales.

En conclusión, la comparación de los dos modelos demuestra que ambos pueden ser utilizados de forma eficiente en plantaciones de cacao, siempre que se realicen ajustes periódicos de presión y calibración. La instalación

de dispositivos de monitoreo y la programación de mantenimientos permitirán sostener niveles óptimos de uniformidad y eficiencia a lo largo del ciclo productivo.

CONCLUSIONES

En cuanto a la Evaluación general del sistema de riego, se puede plantear que el análisis del sistema de riego por aspersión instalado en la finca *Tres Hermanos* permitió comprobar que, en general, el sistema cumple con las funciones básicas de distribución y aplicación de agua necesarias para el cultivo de cacao. Sin embargo, los resultados muestran que existe margen de mejora en cuanto a la uniformidad del riego, lo que sugiere la necesidad de ajustes técnicos para alcanzar un desempeño más eficiente.

En cuanto al desempeño del modelo de aspersor 5022 CAP VERDE, se puede inferir que la obtención un Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC) de 78,45% y una Uniformidad de Distribución (UD) de 92,92%, valores que indican un riego aceptable y con excelente cobertura del área irrigada. Su Eficiencia de Aplicación (Ea) de 96,92% demuestra que el agua aplicada llega en gran proporción a la zona radicular del cultivo, lo que favorece la hidratación homogénea de las plantas de cacao.

Por su parte el desempeño del aspersor Xcel-Wobbler, a juzgar por los resultados para este aspersor, que muestran un CUC de 78,66%, una UD de 87,11% y una Ea de 96,24%, se confirma que el equipo también presenta una distribución uniforme y eficiente del agua, aunque ligeramente inferior al modelo CAP VERDE. Aun así, ambos sistemas resultan adecuados para las condiciones del terreno evaluado.

La diferencia entre ambos modelos es mínima; sin embargo, el aspersor 5022 CAP VERDE ofrece una mejor cobertura y distribución, lo que lo convierte en la opción más recomendable para cultivos de cacao bajo condiciones similares. Esta diferencia se atribuye a la variación en el diseño de las boquillas y a la presión de trabajo empleada en campo.

Las eficiencias de aplicación obtenidas, superiores al 96%, demuestran que el sistema maximiza el aprovechamiento del agua y minimiza las pérdidas por escorrentía, evaporación o percolación. Esto evidencia que un correcto manejo del riego contribuye no solo a mejorar la productividad del cacao, sino también a garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en la zona de estudio.

Por tanto, se recomienda realizar ajustes en la presión de operación, espaciado entre aspersores y calibración de boquillas, además de establecer un monitoreo continuo de caudales y presiones. Estas acciones permitirán

mejorar la uniformidad y eficiencia del riego, adaptándose a posibles cambios climáticos o de topografía del terreno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anella, D., Ramírez, C.J.M., Sacco, A., Longo, M.G., Cirelli, G.L., Consoli, S. (2021). Electrical resistivity imaging for monitoring soil water motion patterns under different drip irrigation scenarios. *Irrigation Science*, 39(1), 145-157. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00271-020-00699-8>.
- Benalcázar, J. (2020). *Análisis comparativo de tres sistemas de riego en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)* (Doctoral dissertation, Universidad Agraria del Ecuador). <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BALCAZAR%20RAMIREZ%20JASON%20FERNANDO.pdf>
- Chávez, G., Olaya, R., & Maza, J. (2018). Costo de producción de cacao clonal ccn-51 en la Parroquia Bellamaria, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(4), 179-185. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202018000400179&script=sci_arttext
- Cedait. (2021). Eficiencia de procesos en el cultivo de cacao. https://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/79cd31d5-2bd8-4934-bd7f-216f3f8f74ef/Boletín+Eficiencia+Procesos_Cacao.Abril-21.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nzS2jWf.
- Flórez, N., Zution, I., Rodrigues, D., Agnellos, A., Ponciano, F., Diego, M., & Eiji, E. (2013). Eficiencia de aplicación de agua en la superficie en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia*. www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n2/v47n2a1.pdf
- Netafim. (2016). *How to select a sprinkler*. www.netafim.com.au/498ade/globalassets/products/sprinklers/d-net/how-to-select-a-sprinkler.pdf
- Ramos, M. P., & Báez, D. (2013). "Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el Cantón Cevallos". Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://dspace.espace.edu.ec/items/872e4a2f-765f-45a0-9546-4dbc6fb6d0de>
- Romero, J. N. (2017). Uso de la distribución normal para cuantificar la calidad del riego en sistemas de aspersión estacionario. *Ciencia y Tecnología*, 10(2), 75-82. <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/211>
- Salazar, R., Aguilar, A., & López, I. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 177-183. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222014000200012&script=sci_arttext
- Tunick, M., Waterhouse, A., Villarreal, R., Ungermann, S., Bamforth, C., Gislason, N., Toth, J., Sanchez, K., Uhl, K., Madison, M., Trout, R. y Trout, J. (2023). *The Science and Craft of Artisanal Food*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190936587.001.0001>

- Torres, Í. (2017). *Diseño e instalación de riego por aspersión* (Master's thesis). <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6960>
- 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. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ird.2837>