

# Hacia una agricultura resiliente: Implementación de sistemas de riego subfoliar y goteo como estrategia de desarrollo rural sostenible en Guayas

*Toward a resilient agriculture: Implementing sub-foliar and drip irrigation systems as a sustainable rural development strategy in Guayas*

Wilmer Mario, Domínguez-Zúñiga<sup>1</sup>  ; Zulema Layanara, Zamora-Mendoza<sup>1</sup> ; Alexandra Aracely, Navarrete-Cornejo<sup>1</sup> ; Carlos Vinicio, Sanabria-Yepez<sup>1</sup> ; Carlos Alberto, Nieto-Cañarte<sup>2</sup> 

(1) Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

(2) Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.

## Resumen

El déficit hídrico estructural en el predio "La Bélgica", Guayas, donde la alta estacionalidad de las lluvias (93% concentradas en cuatro meses) y los bajos rendimientos del cacao nacional limitan la subsistencia de 31 familias. El objetivo fue diseñar e implementar un sistema de riego tecnificado para optimizar la productividad y la resiliencia climática del sector. La metodología empleó un enfoque cuantitativo y descriptivo, integrando una caracterización edafoclimática mediante datos de la estación Milagro (M037) y un análisis físico-químico del suelo. Se aplicaron métodos de cálculo de evapotranspiración (Penman-Monteith) y un análisis de viabilidad financiera basado en indicadores de rentabilidad como el VAN, la TIR y la relación Beneficio/Costo. Los resultados más relevantes destacan la implementación de riego en 86,48 hectáreas, de las cuales el 99,12% utiliza aspersión subfoliar. El sistema opera con un caudal de 0,83 l/s/ha, requiriendo 4.862,60 m<sup>3</sup>/día. En el ámbito económico, se proyecta una renovación de 13 ha/año de cacao CCN-51, lo que incrementará el rendimiento de 22 a 45 qq/ha/año. El análisis financiero arrojó un VAN de USD 466.825,06, una TIR del 25,49% y una relación B/C de 1,38, lo que garantiza el retorno de la inversión. Se concluye que la tecnificación hídrica es el motor de transformación productiva en la zona. La combinación de aspersión subfoliar y la renovación varietal no solo resuelve el estrés hídrico de ocho meses, sino que asegura la sostenibilidad socioeconómica de los productores, proyectando un incremento de ingresos netos superior a los USD 1.600,00/ha a partir del cuarto año.

**Palabras Clave:** riego tecnificado, viabilidad económica, déficit hídrico, desarrollo rural, eficiencia hídrica, seguridad alimentaria.

## Abstract

The structural water scarcity on the "La Bélgica" property in Guayas province, where the high seasonality of rainfall (93% concentrated in four months) and the low yields of national cacao limit the livelihoods of 31 families, was addressed. The objective was to design and implement a pressurized irrigation system to optimize productivity and climate resilience in the area. The methodology employed a quantitative and descriptive approach, integrating a soil and climate characterization using data from the Milagro station (M037) and a physicochemical analysis of the soil. Evapotranspiration calculation methods (Penman-Monteith) and a financial feasibility analysis based on profitability indicators such as NPV, IRR, and the Benefit/Cost ratio were applied. The most relevant results highlight the implementation of irrigation on 86.48 hectares, of which 99.12% uses subfoliar sprinkler irrigation. The system operates with a flow rate of 0.83 l/s/ha, requiring 4,862.60 m<sup>3</sup>/day. Economically, a renewal of 13 ha/year of CCN-51 cacao is projected, which will increase yield from 22 to 45 qq/ha/year. The financial analysis yielded a net present value (NPV) of USD 466,825.06, an internal rate of return (IRR) of 25.49%, and a benefit-cost ratio (B/C) of 1.38, guaranteeing a return on investment. It is concluded that irrigation technology is the driving force behind productive transformation in the region. The combination of subfoliar spraying and varietal renewal not only resolves the eight-month water stress but also ensures the socioeconomic sustainability of the producers, projecting an increase in net income exceeding USD 1,600.00/ha starting in the fourth year.

**Keywords:** pressurized irrigation, economic viability, water deficit, rural development, water efficiency, food security.

|                   |            |                   |            |                     |            |
|-------------------|------------|-------------------|------------|---------------------|------------|
| Recibido/Received | 20-12-2025 | Aprobado/Approved | 12-03-2026 | Publicado/Published | 14-03-2026 |
|-------------------|------------|-------------------|------------|---------------------|------------|

## Introducción

La gestión de los recursos hídricos en la zona costera de Ecuador atraviesa una crisis multifactorial, impulsada por la variabilidad climática y la obsolescencia de los sistemas tradicionales. Según la FAO (2021), los modelos globales de gestión de tierras y aguas han alcanzado un punto de inflexión crítico, lo que hace imperativa una transformación estructural de los sistemas productivos. Esta problemática se agudiza en el contexto local de la provincia del Guayas, específicamente en el cantón San Jacinto de Yaguachi, donde la agricultura familiar opera bajo severas restricciones técnicas. La persistencia de métodos de irrigación artesanales, caracterizados por el uso de pozos someros con niveles moderados de salinidad y sistemas de riego por inundación carentes de programación técnica, está comprometiendo la calidad agrofísica del suelo (Dahal et al., 2026). Siendo, estas prácticas deficientes no solo exacerban la vulnerabilidad de cultivos estratégicos como el cacao y el plátano frente a los periodos de estiaje, sino que socavan la sostenibilidad económica de los productores. Como señala Torres-Cobo (2024), la ausencia de tecnificación hídrica en estas zonas vulnerables constituye una barrera crítica que impide alcanzar los estándares de resiliencia y competitividad exigidos por los mercados contemporáneos.

La sostenibilidad del suelo depende de una optimización de las labores agronómicas que asegure su equilibrio fisicoquímico y biológico (Al-Shammary et al., 2024). En este contexto, la implementación de sistemas de riego presurizado, específicamente el goteo y la aspersión subfoliar, se consolida como la solución técnica de mayor eficiencia operativa (Antu et al., 2024). En el cultivo de musáceas, se reporta que la programación del intervalo de riego en sistemas subfoliares es el factor determinante para la eficacia del fertirriego (Aguilar Macas et al., 2023). En la región del litoral ecuatoriano se ha corroborado que la uniformidad hidráulica en estos sistemas incide directamente en el rendimiento final de la cosecha (Caicedo Camposano et al., 2015). Complementariamente, el riego por goteo exhibe una eficiencia en el uso del agua significativamente superior a los métodos de superficie tradicionales (Conde-Solano et al., 2021). La adopción de estas tecnologías de precisión no solo mitiga el desperdicio del recurso hídrico, sino que promueve la resiliencia y salud integral del agroecosistema (Elmahdi, 2024).

En el predio La Bélgica es imperativa la necesidad de revertir los bajos rendimientos agrícolas vinculados al déficit de infraestructura hídrica. En la actualidad, la asociación Unidos para Vencer opera bajo un modelo de gestión técnica limitada, caracterizado por la ausencia de protocolos de riego adecuados. La transición hacia sistemas de riego presurizado permite optimizar la eficiencia de aplicación del recurso hídrico proveniente del río Bulubulu y mitiga los riesgos de salinización del perfil del suelo (Flores-Manchano & Palacios-López, 2025). Por esta razón, esta intervención debe integrar la modernización técnica con el fortalecimiento socio-organizativo y la transferencia tecnológica especializada. Asimismo, la adopción de nuevas tecnologías converge con los marcos de evaluación global que exigen la reducción de la huella hídrica y la optimización de la eficiencia energética en el agro (Alaoui et al., 2022). Finalmente, la inversión en riego tecnificado se proyecta como un factor determinante para mejorar la resiliencia económica y la sostenibilidad productiva de las 31 familias beneficiarias.

El avance en la analítica de datos y la tecnología de sensores está transformando el pronóstico y la planificación de los recursos hídricos a escala global (Agrawal et al., 2025). En este contexto, la implementación de sensores NPK en comunidades rurales ha demostrado ser una herramienta fundamental para la gestión sostenible de la fertilización (Chan Chi et al., 2025). No obstante, la operatividad de estos sistemas depende estrictamente del mantenimiento preventivo y de la aplicación de estrategias orientadas a evitar la obturación de los emisores (Reinders & Van Niekerk, 2017). Por consiguiente, dada la variabilidad en la calidad del agua de las fuentes fluviales, resulta imperativo un diseño robusto de los sistemas de filtrado para garantizar la vida útil de la infraestructura (Hou et al., 2024). Bajo esta premisa, la sistematización de la experiencia en la provincia del Guayas aporta datos críticos para la planificación hídrica regional y nacional. En última instancia, el presente estudio documenta un modelo replicable que logra armonizar la producción agrícola intensiva con la preservación de los servicios ecosistémicos.

El objetivo general de la presente investigación consiste en evaluar la implementación de sistemas de riego por aspersión subfoliar y goteo en el predio 'La Bélgica'. Específicamente, se busca analizar la incidencia de esta tecnificación en la eficiencia del uso del agua y en los niveles de ingresos de los pequeños productores de cacao (*Theobroma cacao*) y plátano (*Musa paradisiaca*). Asimismo, el estudio pretende validar la viabilidad técnica y económica de la transición hacia modelos de agricultura resiliente en la parroquia Virgen de Fátima. Para ello, se evaluará el impacto de la infraestructura colectiva en la optimización de las 86,48 hectáreas que conforman el área de intervención. Finalmente, se aspira a establecer líneas base para el desarrollo rural sostenible mediante la integración de tecnologías de riego de alta eficiencia. En consecuencia, este análisis servirá como marco de referencia para el diseño de futuras políticas de irrigación parcelaria tecnificada en el ecosistema agrícola del litoral ecuatoriano.

## Materiales y métodos

### 1. Diseño de la investigación y área de estudio

Se desarrolló un estudio de enfoque cuantitativo y alcance descriptivo-propositivo. El área de intervención corresponde al predio "La Bélgica", ubicado en la parroquia Virgen de Fátima, provincia del Guayas (Ecuador). La unidad de análisis comprende 86,48 hectáreas dedicadas al cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) y plátano (*Musa paradisiaca*), gestionadas por la asociación Unidos para Vencer.

### 2. Caracterización biofísica y diagnóstico técnico

Se integraron datos climáticos de la estación meteorológica Milagro (M0037) para el cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ). El diagnóstico edafológico se realizó mediante calicatas y muestreo de suelos para determinar la textura, velocidad de infiltración y capacidad de retención de humedad, parámetros procesados con el software Soil Water Characteristics. La topografía fue relevada mediante equipos de posicionamiento global (GPS) para el diseño de las redes de conducción.

### 3. Diseño agronómico e hidráulico del sistema

La tecnificación se fundamentó en la implementación de sistemas de riego por microaspersión subfoliar y goteo. Se calculó la lámina neta y bruta de riego considerando una eficiencia de aplicación del 80%. El diseño hidráulico contempló la segmentación por turnos de riego, el cálculo de pérdidas de carga por fricción y la selección de equipos de filtrado robustos para mitigar la colmatación por sedimentos fluviales del río Bulubulu.

### 4. Análisis de datos

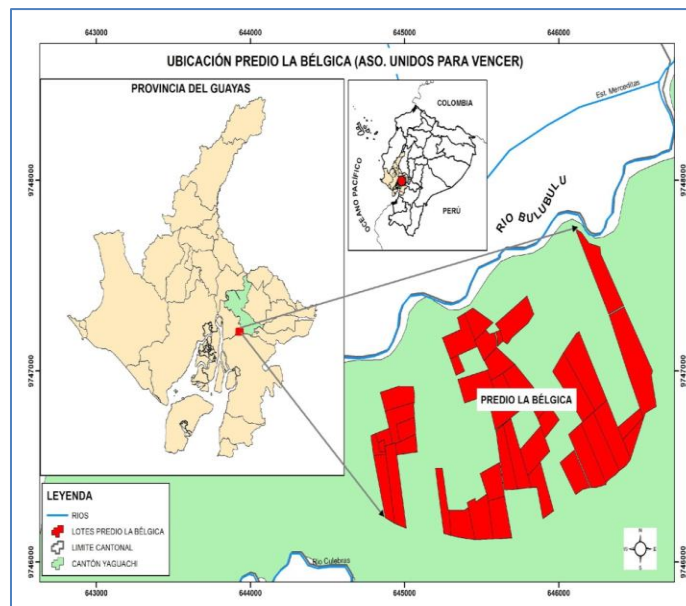
Para validar la efectividad de la propuesta, se aplicaron las siguientes técnicas de procesamiento: Para el análisis hidrológico y de demanda detallado, se procesaron series históricas para establecer el balance hídrico y asegurar la resiliencia del sistema frente a periodos de estiaje. Complementariamente, se realizó una evaluación financiera rigurosa empleando modelos de flujo de caja que permitieron determinar indicadores clave como el VAN, la TIR y la relación Beneficio/Costo, validando así la viabilidad económica tanto para la inversión estatal como para la comunitaria. Finalmente, mediante un análisis comparativo de eficiencia basado en estadística descriptiva, se contrastó el desempeño del sistema tradicional frente al tecnificado, logrando proyectar un incremento significativo en la productividad por hectárea.

## Resultados

El proyecto se localiza en la provincia de Guayas, cantón San Jacinto de Yaguachi, parroquia Virgen de Fátima, a una altitud promedio de 13 m.s.n.m. y cuyas coordenadas UTM son X: 645373 y Y: 9746433/ Huso 17 / Zona Sur / Datum: WGS84. El predio "La Bélgica" limita: al norte con el Río Bulubulu, y al sur se

Domínguez-Zúñiga, W. M., Zamora-Mendoza, Z. L., Navarrete-Cornejo, A. A., Sanabria-Yepez, C. V., & Nieto-Cañarte, C. A. (2026). Hacia una agricultura resiliente: Implementación de sistemas de riego subfoliar y goteo como estrategia de desarrollo rural sostenible en Guayas. *e-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 4, e-RMS04032026. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v4i.365>

encuentra a 290 metros aproximadamente, del Río Culebras. A continuación, en la Figura 1, se presenta la ubicación del predio “La Bélgica”, que proporciona el contexto geográfico y la proximidad a la fuente hídrica.



**Figura 1.** Mapa de ubicación y delimitación del predio

El diseño y la viabilidad del sistema de riego por aspersión subfoliar y goteo en el predio "La Bélgica" se fundamentaron en una caracterización fisicoquímica detallada del suelo. Los resultados obtenidos (Tabla 1) revelan un contraste significativo entre los estratos del perfil del suelo, lo cual condiciona la dinámica hídrica y la gestión nutricional de los cultivos de cacao y plátano.

**Tabla 1.** Caracterización física del suelo

| Variable                                 | Unidad             | Resultado         |                      |
|------------------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
|                                          |                    | Análisis 00-50 cm | Estudio IEE 30-90 cm |
| Potencial de hidrógeno (pH)              | --                 | 7,42              | 6,20                 |
| Conductividad Eléctrica (CE)             | mmhos/cm           | 2,25              | 7,78                 |
| Pendiente                                | %                  | 0 a 2             | 0 a 2                |
| Arena                                    | %                  | 5                 | 24                   |
| Limo                                     | %                  | 73                | 36                   |
| Arcilla                                  | %                  | 22                | 40                   |
| Clase                                    | --                 | Franco Limoso     | Arcilloso            |
| Densidad aparente (DA)                   | gr/cm <sup>3</sup> | 1,20              | -                    |
| Materia orgánica (MO)                    | %                  | 0,50              | 1,45                 |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | meq/100g           | 29,10             | 50,00                |
| Nitrógeno (N)                            | %                  | 0,03              | 7,25                 |
| Sodio (Na)                               | meq/100g           | 0,12              | 13,25                |
| Potasio (K int.)                         |                    | 0,85              | 0,56                 |
| Calcio (Ca)                              |                    | 17,50             | 20,50                |
| Magnesio (Mg)                            |                    | 9,60              | 15,10                |
| Fosforo (P)                              | Ppm                | 12,50             | 5,10                 |
| Hierro (Fe)                              |                    | 66,70             | -                    |
| Manganeso (Mn)                           |                    | 91,70             | -                    |
| Zinc (Zn)                                |                    | 5,80              | -                    |
| Cobre (Cu)                               |                    | 5,00              | -                    |
| Humedad equivalente (HE)                 | %                  | 26,56             | -                    |
| Capacidad de campo (CC)                  |                    | 25,01             | -                    |
| Punto de marchitez permanente (PMP)      |                    | 13,78             | -                    |

La caracterización física del suelo revela una transición textural de una clase franco-limosa en superficie (73% de limo) hacia una textura arcillosa en profundidad (40% de arcilla). Esta configuración, sumada a una topografía de baja pendiente (0-2%), condiciona el diseño hidráulico debido al elevado riesgo de encharcamiento, lo que exige un control riguroso de la lámina de riego. Con una Capacidad de Campo del 25,01% y un Punto de Marchitez Permanente del 13,78%, el rango de agua disponible justifica la implementación de sistemas de alta frecuencia como el goteo y la microaspersión, permitiendo mantener el potencial matricial en niveles óptimos para cultivos de musáceas y cacao.

Químicamente, el perfil presenta un desafío crítico: la Conductividad Eléctrica (CE) se incrementa drásticamente con la profundidad, ascendiendo de 2,25 mmhos/cm a 7,78 mmhos/cm, junto a un valor de sodio intercambiable de 13,25 meq/100g. Este gradiente de salinidad valida la necesidad técnica de un sistema presurizado que facilite el lavado de sales y un control estricto de la fracción de lixiviación. Asimismo, aunque la Capacidad de Intercambio Catiónico es elevada (hasta 50,00 meq/100g), los bajos niveles de materia orgánica (0,50% - 1,45%) y nitrógeno (0,03%) determinan que la infraestructura deba operar como una plataforma de fertirriego para compensar las deficiencias nutricionales del sitio.

Desde la perspectiva climática, los datos de la estación Milagro (M037) confirman un déficit hídrico estructural (Tabla 2). Con una temperatura media de 25,1 °C y una precipitación anual de 1342 mm altamente estacional (93% concentrada entre enero y abril), el predio enfrenta un periodo de estrés hídrico de ocho meses (mayo a diciembre). Al contrastar las metodologías de Thornthwaite y Penman-Monteith, se observa que la Evapotranspiración Potencial anual (1372,9 mm) supera la precipitación total, con brechas extremas en julio y agosto donde la lluvia es prácticamente nula. Esta realidad climática, integrada con los datos de heliofanía y radiación solar, ratifica la urgencia de un sistema de riego de alta eficiencia que garantice tanto el suministro hídrico como la regulación del microclima parcelario.

**Tabla 2.** Parámetros agroclimáticos

| CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL SUB-PROYECTO |                                       |                                               |                 |                  |                                                |               |                              |               |                                |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|--------------------------------|
| CONDICIONES AGROECOLÓGICAS                                |                                       |                                               |                 |                  |                                                |               |                              |               |                                |
| 1.1. Altitud                                              | 13 m.s.n.m.                           | 1.2. Humedad relativa % anual                 |                 | 80               | 1.3. Temperatura promedio anual (°C)           |               | 25.1                         |               |                                |
| 1.4. Nubosidad %                                          | 7 octavos                             | 1.5. Heliofanía (h) anual                     |                 | 1.017,2          | 1.6. Radiación solar anual (K)                 |               | 13,68 Mj/m2/día              |               |                                |
| 1.7. Precipitación promedio mensual (mm)                  | 1.342,0 mm                            | 1.8. Época seca (meses de estación seca)      |                 | Mayo - Diciembre | 1.9. Época de lluvia (meses estación lluviosa) |               | Enero - Abril                |               |                                |
| 1.10. Evaporación (Tanque "A") (mm) anual                 | 1311,1                                | 1.11. Velocidad del viento (m/s) (Km/h) anual |                 | 0.8 m/s          | 1.12. Dirección del viento                     |               | N<br>SE<br>W                 | NE<br>S<br>NW | E<br>SW<br>Calma               |
| 2.Estación meteorológica                                  | Nombre:                               | Coordenadas:                                  |                 | Altitud:         | Distancia a la zona de intervención (Km):      |               |                              |               |                                |
|                                                           | Milagro<br>(Ingenio Valdez)<br>(M037) | X<br>655654,30                                | Y<br>9765816,00 | 13 m.s.n.m.      | 21,50 km                                       |               |                              |               |                                |
| Temperatura                                               |                                       |                                               |                 |                  | Humedad Relativa                               | Precipitación | Evapotranspiración Potencial |               |                                |
| T(media)                                                  |                                       | Tmax                                          | Tmin            | Prec             | HR%                                            | Mm/mes        | ETP mm/m<br>Thornthwhite     |               | ETP mm/mes<br>Penman – Monteih |
| Mes                                                       | °C                                    | °C                                            | °C              | mm               |                                                |               |                              |               |                                |
| ENE                                                       | 25,8                                  | 36                                            | 16,4            | 292,9            | 82                                             | 292,9         | 127,68                       |               | 104,47                         |
| FEB                                                       | 25,8                                  | 34,9                                          | 17,1            | 389,6            | 84                                             | 389,6         | 126,44                       |               | 95,48                          |
| MAR                                                       | 26,3                                  | 34,8                                          | 16,5            | 348,3            | 83                                             | 348,3         | 133,31                       |               | 109,74                         |
| ABR                                                       | 26,4                                  | 34,9                                          | 17              | 217              | 82                                             | 217           | 133,64                       |               | 107,1                          |
| MAY                                                       | 25,8                                  | 34,5                                          | 14,5            | 44,8             | 81                                             | 44,8          | 122,72                       |               | 96,72                          |
| JUN                                                       | 24,6                                  | 34                                            | 15,2            | 3,8              | 82                                             | 3,8           | 103,97                       |               | 77,4                           |
| JUL                                                       | 23,7                                  | 33,5                                          | 14              | 0,2              | 81                                             | 0,2           | 92,98                        |               | 83,39                          |
| AGO                                                       | 23,7                                  | 34,5                                          | 14,9            | 0,2              | 80                                             | 0,2           | 92,98                        |               | 91,76                          |
| SEP                                                       | 24,1                                  | 34,8                                          | 16              | 0,8              | 79                                             | 0,8           | 99,20                        |               | 95,1                           |
| OCT                                                       | 24,3                                  | 35                                            | 15              | 2,1              | 78                                             | 2,1           | 103,95                       |               | 96,72                          |
| NOV                                                       | 24,7                                  | 35                                            | 15,7            | 1,9              | 77                                             | 1,9           | 110,73                       |               | 93,9                           |
| DIC                                                       | 25,7                                  | 35,5                                          | 16,6            | 40,4             | 76                                             | 40,4          | 126,07                       |               | 102,92                         |
| ANUAL                                                     | 25,1                                  | 34,8                                          | 15,7            | 1342             | 80,4                                           | 1342          | 114,41                       |               | 96,225                         |

Fuente: Estación meteorológica - Milagro (Ingenio Valdez) (M037)

El diseño agronómico para el predio "La Bélgica" se sustenta en una demanda hídrica máxima de 3,57 mm/día, la cual, ajustada por el coeficiente del cultivo ( $K_c = 0,90$ ) y una eficiencia del sistema del 80%, establece una lámina bruta diaria de 5,62 mm. Como se detalla en la Tabla 3, el sistema de aspersión operará con una frecuencia de 5 días a la semana, cubriendo una superficie neta de 86,48 hectáreas. La configuración técnica emplea aspersores con un caudal de 340,69 l/h dispuestos en marcos de 9x9 metros, lo que garantiza una precipitación horaria de 4,21 mm/h, ideal para mantener el balance hídrico sin superar la capacidad de infiltración del suelo.

**Tabla 3. Resumen del diseño agronómico**

| SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO                        |           |                 |
|-----------------------------------------------------|-----------|-----------------|
| DATOS DEL CLIMA                                     |           |                 |
| Evapotranspiración del cultivo - Eto max            | mm/día    | 3,57            |
| DATOS DE LA PARCELA                                 |           |                 |
| Área bruta del Proyecto                             | Ha        | 93,19           |
| Área neta del Proyecto – Sr                         | Ha        | 86,48           |
| DATOS DEL CULTIVO                                   |           |                 |
| Cultivos                                            | -         | Cacao y Plátano |
| Coeficiente del Cultivo Ajustado - Kc med ajust     | -         | 0,90            |
| Distancia entre hileras                             | m         | 3               |
| Espaciamento entre plantas                          | m         | 3               |
| DATOS DEL SISTEMA DE RIEGO                          |           |                 |
| Sistema de Riego                                    | -         | Aspersión       |
| Eficiencia del Sistema – Efic                       | %         | 80%             |
| Horas máxima de Operación                           | h         | 19,00           |
| Días de riego a la semana- DR                       | días      | 5               |
| Espaciamento entre Laterales – dl                   | m         | 9,00            |
| Espaciamento entre Emisor – de                      | m         | 9,00            |
| Caudal Promedio de la Válvula – Qval                | m3/h      | 35,00           |
| DATOS DEL ASPERSOR                                  |           |                 |
| Tipo de Aspersor                                    | -         | Aspersión       |
| Modelo                                              | -         |                 |
| Boquilla                                            | -         | 7               |
| Presión del Aspersor                                | PSI       | 20,00           |
| Presión del Aspersor                                | m         | 14,06           |
| Caudal del Aspersor – Qe                            | GPM       | 1,50            |
| Caudal del Aspersor – Qe                            | l/h       | 340,69          |
| Caudal del Emisor – Qe                              | m3/h      | 0,34            |
| Diámetro de Cobertura – Dc                          | m         | 14,00           |
| DISEÑO AGRONOMICO                                   |           |                 |
| Porcentaje de área bajo riego – PAR                 | %         | 100%            |
| Precipitación horaria de riego – Phr                | mm/h      | 4,21            |
| Evapotranspiración del cultivo- Etc                 | mm/día    | 3,21            |
| Lamina de Riego por día                             | mm/día    | 4,50            |
| Lamina de Riego ajustada – Lraj                     | mm        | 4,50            |
| Lamina Bruta Diaria – LB                            | mm/día    | 5,62            |
| Horas de riego por turno - Ht                       | h/turno   | 1,34            |
| Horas de riego por turno – Ht                       | min/turno | 80,21           |
| Numero de turnos por ciclo – Tc                     | turno/día | 14,21           |
| Numero de turnos por ciclo Ajustado – Tc            | turno/día | 14,00           |
| Horas de riego por día – Hd                         | h/día     | 18,72           |
| DISEÑO FÍSICO                                       |           |                 |
| Superficie bajo riego por turno – St                | ha/turno  | 6,18            |
| Superficie bajo riego por turno – St                | m2/turno  | 61771,40        |
| Caudal por Turno – Qt                               | m3/h      | 259,80          |
| Caudal por Turno – Qt                               | GPM       | 1143,80         |
| Número total de módulos en funcionamiento - Nmfs    | -         | 7,42            |
| Número real de módulos en funcionamiento simultáneo | -         | 7               |
| Caudal Promedio por Modulo – Qm                     | m3/h      | 37,1            |
| Caudal Promedio por Modulo – Qm                     | GPM       | 163,40          |
| Superficie del Módulo – Srm                         | ha        | 0,88            |
| Numero de Válvulas en el Proyecto                   | #         | 98              |
| Caudal Especifico – Qe                              | m3/h/ha   | 3,00            |
| Caudal Especifico – Qe                              | l/s/ha    | 0,83            |
| Volumen diario de Agua requerida                    | m3/día    | 4862,60         |
| Número de aspersores por Turno                      | #         | 763             |
| Número de aspersores por Turno                      | #         | 109             |
| Número de aspersores del Proyecto                   | #         | 10677           |

La operatividad del proyecto destaca por una gestión intensiva de la infraestructura, programada para funcionar 18,72 horas al día distribuidas en 14 turnos de riego de aproximadamente 80 minutos cada uno. Según los indicadores de la Tabla 3, el caudal específico de 0,83 l/s/ha y el requerimiento de un volumen diario de 4.862,60 m<sup>3</sup> de agua aseguran la resiliencia de los cultivos de cacao y plátano frente al déficit hídrico regional. Este dimensionamiento físico, que integra 10.677 aspersores y 98 válvulas, permite una plataforma robusta no solo para el riego, sino también para el fertirriego, optimizando la nutrición mineral en un suelo con bajas reservas de materia orgánica.

Como se detalla en la Tabla 4, la mayor parte del área intervenida, correspondiente a 85,72 hectáreas (99,12% del total), fue equipada con un sistema de aspersión subfoliar. Esta elección técnica es fundamental para el cultivo de cacao y plátano en el litoral ecuatoriano, ya que la aplicación de agua bajo el dosel foliar permite mantener niveles óptimos de humedad relativa y reducir la temperatura del suelo sin interferir con los procesos de polinización o favorecer el desarrollo de enfermedades fúngicas en el follaje.

Por otro lado, se destinó una superficie de 0,76 hectáreas para la implementación de un sistema de riego por goteo localizado en el área de huerto. Esta micro-zonificación permite un manejo intensivo y diferenciado de los recursos, facilitando la entrega directa de agua y nutrientes a la zona radicular, lo cual es ideal para diversificar la producción y fortalecer la seguridad alimentaria de los socios de la organización.

**Tabla 4.** Método de riego por parcela

| Predio     | MÉTODO DE RIEGO     | SUPERFICIE IMPLEMENTADA POR METODO (HA) |
|------------|---------------------|-----------------------------------------|
| La Bélgica | Aspersión Subfoliar | 85,72                                   |
| La Bélgica | Goteo (Huerto)      | 0,76                                    |
|            | Total               | 86,48                                   |

Fuente: SUIPT, 2018.

La viabilidad económica del proyecto se fundamentó en una metodología de contraste entre la situación actual y la proyectada, utilizando datos primarios de los 31 socios de la Asociación "Unidos para Vencer" y fuentes oficiales como el SINAGAP. El diagnóstico reveló que el cultivo de cacao nacional presenta rendimientos deficientes, por lo que la intervención propone una renovación técnica integral. Esta estrategia contempla la sustitución paulatina de 13 hectáreas anuales de cacao nacional por la variedad CCN-51, altamente productiva, junto con la eliminación progresiva del plátano variedad Dominico en las áreas donde ejerce competencia nutricional, permitiendo alcanzar una especialización del cultivo para el cuarto año de ejecución.

Desde la perspectiva financiera, el sub-proyecto transforma la estructura de costos y beneficios para los productores. Mientras que en el escenario inicial los costos de producción ascendían a USD 107.327,80 para 84,35 hectáreas, la tecnificación del riego y la mejora en la gestión agronómica optimizan la inversión. Con la implementación del sistema en las 86,48 hectáreas totales, se estima un incremento sustancial en los rendimientos: el cacao CCN-51 pasará de 22 a 45 qq/ha/año, mientras que el plátano incrementará de 960 a 1100 racimas/ha/año. Estos volúmenes de producción, valorados con precios de mercado de referencia (USD 98/qq para cacao y USD 2,80/racima para plátano), aseguran una mejora en los flujos de caja desde el primer año.

Finalmente, el análisis de rentabilidad valida la sostenibilidad del proyecto mediante indicadores positivos en el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), destacando una relación Beneficio/Costo (B/C) de 1,38 (Tabla 5). Esto significa que por cada dólar invertido se proyecta un retorno de 38 centavos de ganancia. El incremento anual de ingresos netos por hectárea superará los USD 1.600,00 a partir del cuarto año, una vez consolidada la renovación del cultivo. Esta resiliencia económica se apoya no solo en la infraestructura hídrica, sino también en la transición hacia mercados más formales y el fortalecimiento de la capacidad productiva de las familias beneficiarias.

**Tabla 5. Resumen de indicadores económicos**

| Indicador              | Valor           |
|------------------------|-----------------|
| VANe                   | 466,825,06      |
| TIRe                   | 25,49%          |
| Actualización ingresos | \$ 1.680.862,81 |
| Actualización egresos  | \$ 1.214.037,75 |
| B/Ce                   | 1,38            |

## Discusión

La implementación de sistemas de riego tecnificado en el predio "La Bélgica" representa una respuesta estratégica a las limitaciones biofísicas y climáticas de la provincia del Guayas. Los resultados demuestran que la transición de un modelo de riego artesanal hacia uno de precisión es fundamental para alcanzar la resiliencia agrícola. En este sentido, Agrawal et al. (2025) sostienen que la integración de datos técnicos en la toma de decisiones es el camino hacia la sostenibilidad ambiental. Por lo tanto, el uso de cartografía UTM y caracterizaciones detalladas permite contextualizar las intervenciones de ingeniería en territorios con alta vulnerabilidad hídrica. La proximidad del río Bulubulu como fuente hídrica principal subraya la importancia de gestionar el agua superficial con alta eficiencia.

El análisis de las propiedades físicas del suelo revela una complejidad textural que condiciona directamente el diseño hidráulico del sistema. Se observó una transición de horizontes franco-limosos a arcillosos, lo que incrementa el riesgo de hipoxia radicular por encharcamiento en zonas de baja pendiente. Al respecto, Li et al. (2024) indican que los modelos empíricos de humedecimiento del suelo deben considerar estas variaciones para optimizar el diseño de emisores. Bajo estas condiciones, el rango de agua aprovechable determinado justifica plenamente la adopción de microaspersión y goteo. Estas tecnologías permiten mantener el potencial matricial del suelo en niveles óptimos, evitando el estrés hídrico sin comprometer la estructura edáfica. Al-Shammary et al. (2024) resaltan que optimizar las prácticas agronómicas es vital para preservar los atributos del suelo en sistemas intensivos.

Químicamente, el incremento drástico de la conductividad eléctrica y el sodio intercambiable en profundidad constituye un desafío para la sostenibilidad del cacao. Este gradiente de salinidad valida la necesidad de sistemas presurizados que permitan la aplicación de una fracción de lixiviación controlada. En concordancia, Elmahdi (2024) argumenta que ante la escasez y calidad variable del agua, se deben explorar recursos alternativos con un manejo técnico riguroso. La baja presencia de materia orgánica y nitrógeno en el predio exige que el sistema de riego opere simultáneamente como una red de fertirriego. Chan Chi et al. (2025) proponen el uso de sensores y tecnologías de monitoreo para ajustar la aplicación de nutrientes NPK de forma precisa. Así, la infraestructura instalada se convierte en una herramienta de gestión nutricional que compensa las deficiencias naturales del sitio.

La realidad climática del cantón Yaguachi, caracterizada por un déficit hídrico de ocho meses, ratifica la urgencia de la tecnificación propuesta. El contraste entre la precipitación estacional y la elevada evapotranspiración potencial genera una brecha hídrica crítica, especialmente en el periodo seco. Según la Food and Agriculture Organization (2021), los sistemas de tierra y agua están llegando a un punto de ruptura que exige transformaciones inmediatas. Los datos de radiación solar y heliofanía recolectados en la estación Milagro sustentan la necesidad de regular el microclima mediante riego subfoliar. Torres-Cobo (2024) enfatiza que las estrategias de uso sostenible del agua son la única vía para garantizar la seguridad alimentaria. De este modo, la aspersión no solo provee agua, sino que mitiga el impacto térmico sobre el cultivo.

El diseño agronómico del sistema, con una lámina bruta diaria de 5,62 mm, se alinea con las demandas críticas de las musáceas y el cacao. La configuración de marcos de 9x9 metros con aspersores de bajo caudal asegura una precipitación horaria que no supera la capacidad de infiltración. Caicedo

Camposano et al. (2015) han demostrado que la evaluación hidráulica del riego subfoliar en el litoral ecuatoriano es clave para maximizar la productividad. La operatividad del sistema durante 18,72 horas al día permite una distribución equitativa del recurso entre todos los módulos. Antu et al. (2024) mencionan que las tecnologías emergentes para el uso eficiente del agua son tendencias irreversibles en la agricultura moderna. Este dimensionamiento garantiza que la oferta hídrica sea constante incluso en las fases fenológicas más exigentes del ciclo productivo.

La predominancia de la aspersión subfoliar en el 99,12% del área responde a criterios técnicos de protección fitosanitaria y eficiencia ambiental. Este método evita el mojado directo del follaje, reduciendo significativamente la incidencia de enfermedades fúngicas comunes en el trópico. Aguilar Macas et al. (2023) señalan que el intervalo de riego en sistemas subfoliares tiene una incidencia directa en el rendimiento del banano y el cacao. Al mantener la humedad relativa bajo el dosel, se favorece la polinización y se optimiza el consumo de energía del cultivo. Por su parte, la inclusión de riego por goteo en áreas de huerto demuestra una micro-zonificación eficiente para la diversificación productiva. Tandazo Garcés et al. (2018) confirman que la calidad del riego subfoliar es superior cuando se adapta a la realidad edafoclimática local.

La viabilidad económica del proyecto se sustenta en la transición tecnológica hacia la variedad de cacao CCN-51 y la especialización productiva. El diagnóstico inicial evidenció que los bajos rendimientos del cacao nacional comprometían la rentabilidad de la asociación "Unidos para Vencer". Reinders y Van Niekerk (2017) afirman que un enfoque tecnológico inteligente es indispensable para mantener funcionales los sistemas de riego a largo plazo. La renovación paulatina de las huertas permite a los agricultores adaptarse al nuevo modelo sin sacrificar su estabilidad financiera inmediata. Además, la eliminación de la competencia nutricional del plátano Dominicano en áreas específicas potencia el rendimiento del cacao. Bjørn et al. (2020) sugieren que la evaluación de sostenibilidad debe incluir el ciclo de vida de los métodos aplicados.

Desde el punto de vista financiero, la reducción de los costos de producción por hectárea y el aumento de los ingresos brutos validan la inversión. El incremento proyectado de 22 a 45 qq/ha en cacao representa una mejora sustancial que justifica el costo de la infraestructura. Kumar et al. (2008) estudiaron la factibilidad de microirrigación en áreas de comando, encontrando resultados similares en términos de incremento de productividad. La fijación de precios conservadores basados en fuentes oficiales como SINAGAP asegura que las proyecciones financieras sean realistas y alcanzables. Alaoui et al. (2022) explican que los marcos de evaluación de sostenibilidad deben integrar tanto el rendimiento agrícola como la rentabilidad económica. El proyecto cumple con esta premisa al fortalecer el flujo de caja desde el primer año de operación.

La relación beneficio/costo de 1,38 y una tasa interna de retorno del 25,49% sitúan al sub-proyecto como una inversión altamente rentable para el sector rural. Estos indicadores superan los promedios de proyectos de infraestructura hídrica tradicional en la región, demostrando la eficiencia del diseño parcelario. Orhan y Kalem (2025) sostienen que el análisis del rendimiento de los sistemas de riego es vital para evitar problemas operativos como la colmatación. La sostenibilidad a largo plazo dependerá de una gestión correcta del mantenimiento y la limpieza de los emisores para asegurar la uniformidad de riego. Petroselli et al. (2025) resaltan que optimizar la eficiencia de purga en sistemas de riego es fundamental para prolongar la vida útil de la red. La capacidad de autogestión de la asociación será el pilar de este éxito operativo.

El impacto social del proyecto se manifiesta en el incremento de los ingresos netos familiares, que superarán los USD 1.600,00 anuales a partir del cuarto año. Este excedente financiero permite a las comunidades rurales salir del ciclo de subsistencia hacia uno de acumulación y reinversión técnica. Hernández y Pérez (2021) asocian el aprendizaje sostenible en comunidades rurales con la implementación de estrategias de educación ambiental y tecnificación. La parcela demostrativa de 0,76 hectáreas servirá como centro de capacitación para el manejo del fertirriego y la conservación de suelos. Qiu et al. (2026)

enfatan que la correcta distribución de agua y nitrógeno es lo que finalmente determina el éxito de un sistema de riego. La capacitación continua garantizará que los productores dominen estas variables críticas para su progreso económico.

La integración de la gestión de riesgos ambientales a través de guías de buenas prácticas refuerza el carácter resiliente de la intervención en Guayas. Se espera que el control estricto de la fracción de lixiviación prevenga la degradación de los acuíferos locales y la salinización superficial. Hou et al. (2024) demuestran que la calidad del agua tiene un efecto directo en el rendimiento de los emisores compensados por presión. Al utilizar agua del río Bulubulu, se deben aplicar protocolos de filtrado para proteger la inversión realizada por los 31 socios. Dahal et al. (2026) sugieren que los avances en la gestión del agua agrícola deben priorizar siempre la sostenibilidad de los recursos hídricos. La implementación en "La Bélgica" se alinea con estos objetivos globales de conservación y eficiencia.

La especialización del cultivo hacia el cacao CCN-51, apoyada por la aspersión subfoliar, minimiza la competencia intraespecífica y maximiza el uso del área neta. El diseño físico, que incluye 98 válvulas y más de diez mil aspersores, permite una gestión sectorizada que se adapta a las necesidades de cada parcela. Conde-Solano et al. (2021) resaltan que la eficiencia del uso del agua es superior en sistemas presurizados comparados con el riego por gravedad tradicional. Esta superioridad técnica se traduce en una agricultura capaz de enfrentar las fluctuaciones climáticas extremas del litoral. Flores-Mancheno y Palacios-López (2025) concluyen que las tecnologías de riego inteligente contribuyen decisivamente a la conservación del agua. En definitiva, el proyecto no solo mejora la productividad, sino que protege el ecosistema agrícola circundante.

Finalmente, las evidencias presentadas en los indicadores de rentabilidad y diseño agronómico permiten inferir que el proyecto es un modelo replicable para el desarrollo rural. La secuencia de resultados, desde la edafología hasta la economía, muestra una coherencia técnica que asegura el cumplimiento de los objetivos planteados. Bjørn et al. (2020) indican que los métodos basados en el ciclo de vida son esenciales para evaluaciones ambientales absolutas. La resiliencia económica y ambiental de la asociación "Unidos para Vencer" se ve fortalecida por una infraestructura que optimiza cada gota de agua. Por consiguiente, el predio "La Bélgica" se posiciona como un referente de agricultura de precisión en la provincia del Guayas. La combinación de aspersión subfoliar y goteo es la solución técnica más adecuada para el contexto local analizado.

A la luz de los resultados obtenidos, se puede aseverar que la tecnificación hídrica es el motor de la transformación productiva en el área de estudio. La transición hacia una variedad de mayor rendimiento, respaldada por un sistema de riego eficiente, garantiza la viabilidad de la organización a largo plazo. Al-Shammary et al. (2024) reafirman que la optimización de las prácticas agronómicas tiene un impacto profundo en la calidad de vida de los agricultores. La infraestructura de riego no es un fin en sí mismo, sino el medio para alcanzar la estabilidad socioeconómica y ambiental. Por todo lo anterior, el subproyecto cumple con los estándares de sostenibilidad necesarios para enfrentar los desafíos del siglo XXI. La agricultura resiliente en Yaguachi es ahora una realidad técnica y económicamente sustentable.

## Consideraciones finales

La implementación del sistema de riego por aspersión subfoliar y goteo en el predio "La Bélgica" constituye una solución técnica integral que supera las limitaciones impuestas por el déficit hídrico estacional y la heterogeneidad de los suelos. Al garantizar un suministro de agua preciso y controlado, la infraestructura no solo estabiliza la producción de cacao y plátano, sino que también actúa como una plataforma de gestión nutricional mediante el fertirriego. Esta capacidad de intervención técnica es determinante para mitigar los riesgos climáticos y edáficos, asegurando que la disponibilidad de recursos hídricos deje de ser un factor limitante para el desarrollo agrícola de la zona.

Desde la dimensión económica y productiva, el éxito del proyecto radica en el binomio conformado por la tecnología de riego y la renovación varietal hacia el cacao CCN-51. Los indicadores financieros, reflejados

Domínguez-Zúñiga, W. M., Zamora-Mendoza, Z. L., Navarrete-Cornejo, A. A., Sanabria-Yepez, C. V., & Nieto-Cañarte, C. A. (2026). Hacia una agricultura resiliente: Implementación de sistemas de riego subfoliar y goteo como estrategia de desarrollo rural sostenible en Guayas. *e-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 4, e-RMS04032026. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v4i.365>

en una relación beneficio/costo favorable y un incremento sustancial de los ingresos netos familiares, validan la inversión como un motor de movilidad social para los 31 socios de la organización. La transición hacia modelos de producción más eficientes y especializados permite a los agricultores abandonar los esquemas de subsistencia, integrándose de manera competitiva en los mercados nacionales con productos de mayor rendimiento y calidad.

Finalmente, la sostenibilidad a largo plazo del subproyecto depende de la sinergia entre la infraestructura física y el fortalecimiento de las capacidades locales. La operatividad del sistema bajo un esquema de obra colectiva fomenta la cohesión de la Asociación "Unidos para Vencer" y promueve una cultura de mantenimiento y uso eficiente del agua. Al posicionar al predio como un referente de agricultura de precisión en la provincia del Guayas, esta intervención no solo mejora la calidad de vida de las familias beneficiarias en el presente, sino que establece una base sólida de resiliencia y soberanía productiva para las futuras generaciones de la parroquia Virgen de Fátima.

## Agradecimientos

A nuestras universidades.

## Conflicto de intereses

No se reporta.

## Referencias

- Agrawal, R., Islam, N., Samadhiya, A., Shukla, V., Kumar, A., & Upadhyay, A. (2025). Paving the way to environmental sustainability: A systematic review to integrate big data analytics into high-stake decision forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 214, Artículo 124060. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124060>
- Aguilar Macas, H. F., Chabla Carrillo, J., & Cueva Rivera, E. (2023). Incidencia del intervalo de riego en sistema subfoliar, aplicando fertirriego y fertilización edáfica en banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(1), 145–151. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/608>
- Al-Shammary, A. A. G., Al-Shihmani, L. S. S., Fernández-Gálvez, J., & Caballero-Calvo, A. (2024). Optimizing sustainable agriculture: A comprehensive review of agronomic practices and their impacts on soil attributes. *Journal of Environmental Management*, 364, Artículo 121487. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121487>
- Alaoui, A., Barão, L., Ferreira, C. S. S., & Hessel, R. (2022). An Overview of Sustainability Assessment Frameworks in Agriculture. *Land*, 11(4), 537. <https://doi.org/10.3390/land11040537>
- Antu, U. B., Islam, M. S., Ahmed, S., Arifuzzaman, M., Saha, S., Mitu, P. R., Sarkar, A. R., Mahiddin, N. A., Ismail, Z., Ibrahim, K. A., & Idris, A. M. (2024). Emerging technologies for efficient water use in agriculture: A review of current trends and future directions. *Journal of Water Process Engineering*, 68, Artículo 106317. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106317>
- Bjørn, A., Chandrakumar, C., Boulay, A., Doka, G., Fang, K., Gondran, N., Hauschild, M. Z., Kerkhof, A., King, H., Margni, M., McLaren, S., Mueller, C., Owsianiak, M., Peters, G., Roos, S., Sala, S., Sandin, G., Sim, S., Vargas-Gonzalez, M., & Ryberg, M. (2020). Review of life-cycle based methods for absolute environmental sustainability assessment and their applications. *Environmental Research Letters*, 15(8), Artículo 083001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab89d7>
- Caicedo Camposano, O., Balmaseda Espinosa, C., & Proaño Saraguro, J. (2015). Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 38-43. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542015000100005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000100005)

- Domínguez-Zúñiga, W. M., Zamora-Mendoza, Z. L., Navarrete-Cornejo, A. A., Sanabria-Yepez, C. V., & Nieto-Cañarte, C. A. (2026). Hacia una agricultura resiliente: Implementación de sistemas de riego subfoliar y goteo como estrategia de desarrollo rural sostenible en Guayas. *e-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 4, e-RMS04032026. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v4i.365>
- Chan Chi, M. R., Pech de la Portilla, J. G., López May, C. H., Vela Peraza, A. G., & Kam Pacheco, M. J. (2025). Implementación de Sensor de Minerales NPK como Apoyo para el Cultivo en una Comunidad Maya del Estado de Yucatán. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(6), 3243-3260. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i6.21439](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21439)
- Conde-Solano, J. L., Sánchez-Urdaneta, A. B., Colmenares de Ortega, C. B., Ortega Alcalá, J., & Vásquez, E. R. (2021). Eficiencia de Uso del Agua en Riego por Goteo Superficial y Subsuperficial en Zea mays L. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia*, 44(2), 75-82. <https://doi.org/10.22209/rt.v44n2a02>
- Dahal, B., Avellán, T., Haghighi, A. T., & Kløve, B. (2026). Advancing sustainability in agriculture water management: Insights from literature. *Environmental and Sustainability Indicators*, 30, Artículo 101142. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2026.101142>
- Dong, D., Wang, N., Tian, H., Ma, S., & Zhao, C. (2025). The War for Fertile Soil: Advancements in Soil Nutrient Field Sensors. *Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2025.04.029>
- Elmahdi, A. (2024). Addressing water scarcity in agricultural irrigation: By exploring alternative water resources for sustainable irrigated agriculture. *Irrigation and Drainage*, 73(5), 1675-1683. <https://doi.org/10.1002/ird.2973>
- Flores-Mancheno, C. I., & Palacios-López, L. A. (2025). Tecnologías de riego inteligente y su contribución a la conservación del agua en agricultura. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(1), 61-73. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n1/46>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021)*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- Hernández, L., & Pérez, J. (2021). Huertos escolares y educación ambiental: una estrategia para el aprendizaje sostenible en comunidades rurales. *Revista Mexicana de Educación Ambiental*, 7(2), 45–58.
- Hou, P., Ma, C., Zhang, K., Hou, S., Li, J., Xiao, Y., & Li, Y. (2024). Effect of different water quality on the performance of pressure compensating emitter in drip irrigation systems. *Irrigation and Drainage*, 74(3), 970-982. <https://doi.org/10.1002/ird.3061>
- Kumar, S., Imtiyaz, M., & Kumar, A. (2008). Studying the feasibility of using microirrigation systems for vegetable production in a canal command area. *Irrigation and Drainage*, 58(1), 86-95. <https://doi.org/10.1002/ird.396>
- Li, G., Nie, W., & Li, Y. (2024). Empirical models for calculating soil wetting patterns under surface drip irrigation systems: A comprehensive analysis. *Irrigation and Drainage*, 74(1), 86-106. <https://doi.org/10.1002/ird.2982>
- Orhan, N., & Kalem, B. (2025). Clogging Analysis in Drip Irrigation Systems: CFD and DEM Approaches. *Irrigation and Drainage*, 74(4), 1395-1409. <https://doi.org/10.1002/ird.3108>
- Petroselli, A., Romerio, D., Santelli, P., Mariotti, R., Di Giacinti, S., Ungari, M., & Apollonio, C. (2025). Optimizing Flushing Efficiency in Drip Irrigation Systems: A Case Study on a Dripline With Pressure-Compensating Emitters. *Irrigation and Drainage*, 74(5), 2080-2090. <https://doi.org/10.1002/ird.4001>
- Qiu, Z., Sun, M., Gong, S., & Tang, Z. (2026). Evaluation of Water and Nitrogen Distribution and Redistribution in Subsurface Drip Irrigation Systems. *Irrigation and Drainage*. <https://doi.org/10.1002/ird.70100>

- Domínguez-Zúñiga, W. M., Zamora-Mendoza, Z. L., Navarrete-Cornejo, A. A., Sanabria-Yepez, C. V., & Nieto-Cañarte, C. A. (2026). Hacia una agricultura resiliente: Implementación de sistemas de riego subfoliar y goteo como estrategia de desarrollo rural sostenible en Guayas. *e-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 4, e-RMS04032026. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v4i.365>
- Reinders, F. B., & Van Niekerk, A. S. (2017). Technology Smart Approach to Keep Drip Irrigation Systems Functional. *Irrigation and Drainage*, 67(1), 82-88. <https://doi.org/10.1002/ird.2191>
- Tandazo Garcés, J., Caicedo Camposano, O., Salas Macías, C., & Sánchez Vásquez, V. (2018). Calidad del riego por aspersión subfoliar en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la finca San Vicente, Los Ríos, Ecuador. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, (20).
- Torres-Cobo, L. E. (2024). Estrategias para el uso sostenible del agua en la agricultura. *Horizon Nexus Journal*, 2(4), 1-14. <https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n4/40>