



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**CARRERA AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**ALTERNATIVAS DE RIEGO PRESURIZADO PARA EL  
CULTIVO INTENSIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus* spp.) EN  
SUELOS ÁRIDOS DE LA PARROQUIA PROGRESO,  
GUAYAS**

**AUTOR**

**NARANJO VILLACRESES ANTHONY JHON**

**TUTORA**

**ING. RODRÍGUEZ JARAMA FANNY, MSC.**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2026**




**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**CARRERA AGRONOMÍA**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: ALTERNATIVAS DE RIEGO PRESURIZADO PARA EL CULTIVO INTENSIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus spp.*) EN SUELOS ÁRIDOS DE LA PARROQUIA PROGRESO, GUAYAS, realizado por el estudiante NARANJO VILLACRESES ANTHONY JHON; con cédula de identidad N° 0953183829 de la carrera AGRONOMÍA, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
Ing Fanny Rodríguez Jarama, M.Sc.  
**FIRMA DEL TUTOR**

Guayaquil, 15 de junio del 20



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA AGRONOMÍA**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "ALTERNATIVAS DE RIEGO PRESURIZADO PARA EL CULTIVO INTENSIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus* spp.) EN SUELOS ÁRIDOS DE LA PARROQUIA PROGRESO, GUAYAS", realizado por el estudiante NARANJO VILLACRESES ANTHONY JHON, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Yoansy García Ortega, M.Sc.  
**PRESIDENTE**

Ing. Dariyn Amaya Márquez, M.Sc.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

Ing. Antonio Álava Murillo, M.Sc.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

Ing. Fanny Rodríguez Jarama, M.Sc.  
**EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 15 de junio del 2026

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación está dedicado a Dios y a toda mi familia, quienes han sido mi principal fuente de apoyo y motivación, acompañándome en cada etapa de este proceso e impulsándome a seguir adelante con esfuerzo y perseverancia.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por permitirme encontrar mi vocación, brindarme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa de mi vida.

A mi padre, John Naranjo, por inculcarme los valores de la perseverancia, la responsabilidad y el trabajo constante, que han sido fundamentales en mi formación personal y profesional.

A mi madre, Lastenia Villacreses, por su apoyo incondicional, su amor infinito y por estar siempre presente en cada paso de mi camino.

A mi hermano, Tony, por su confianza, apoyo e impulsarme a dar siempre lo mejor de mí, siendo un ejemplo por seguir.

A mi hermano, Thiago, por motivarme a ser un ejemplo para él.

A mi novia, Sofía Abud, por acompañarme con paciencia, comprensión, amor y apoyo durante este proceso, y por ser un pilar fundamental en esta etapa de mi vida.

A mi tutora, Ing. Fanny Rodríguez, por su valiosa orientación, dedicación y profesionalismo a lo largo del desarrollo de este trabajo de titulación.

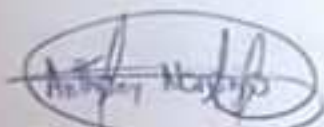
**Autorización de Autoría Intelectual**

Yo NARANJO VILLACRESES ANTHONY JHON, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre "ALTERNATIVAS DE RIEGO PRESURIZADO PARA EL CULTIVO INTENSIVO DE PITAHAYA (*Hylocereus* spp.) EN SUELOS ÁRIDOS DE LA PARROQUIA PROGRESO, GUAYAS" para optar el título de INGENIERO AGRÓNOMO, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 15 de junio del 2026

Firma



NARANJO VILLACRESES ANTHONY JHON  
C.I. 0953183829

## RESUMEN

La pitahaya se ha consolidado como un producto de exportación clave en Ecuador, aunque su producción en zonas áridas como la parroquia Progreso (Guayas) enfrenta limitaciones por déficit hídrico y deficiencias en el diseño de riego, agravadas por suelos arcillosos y topografía irregular. Este estudio evaluó alternativas de riego presurizado (goteo superficial, goteo subterráneo, aspersión y microaspersión) para el cultivo intensivo de pitahaya, mediante un enfoque descriptivo y comparativo que integró el diseño agronómico, físico e hidráulico con herramientas como NASA POWER, FAO ETo Calculator, SPAW, IrriCAD y AQUA, al considerar variables climáticas, edáficas y del cultivo. Los resultados muestran que el goteo superficial alcanzó la mayor estabilidad hidráulica (variación de caudal de 1.33%), el menor consumo energético (5 581 kWh ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y un costo intermedio (USD 4 654 ha<sup>-1</sup>). El goteo subterráneo presenta alta estabilidad hidráulica (variación de caudal de 0.85%) pero el mayor costo (USD 5 238 ha<sup>-1</sup>) y un consumo energético intermedio (6 454 kWh ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). La aspersión registra alta variabilidad de caudal (25.9%) y falla en pendientes superiores a diez grados. La microaspersión posee la menor inversión (USD 3 898 ha<sup>-1</sup>) y facilidad de diseño, pero el mayor consumo energético (8 117 kWh ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y un consumo hídrico superior al del goteo. Se concluye que ningún sistema optimiza de forma simultánea los tres recursos, pero el goteo superficial constituye la alternativa técnica más viable en condiciones de aridez, pues prioriza la eficiencia hídrica y energética sobre la mera minimización de la inversión inicial.

**Palabras clave:** *Eficiencia hídrica, goteo superficial, pitahaya, riego presurizado, suelos áridos.*

## ABSTRACT

Pitahaya has become a key export product in Ecuador, although its production in arid areas such as the Progreso parish (Guayas) faces limitations due to water deficit and irrigation design deficiencies, aggravated by clayey soils and irregular topography. This study evaluated pressurized irrigation alternatives (surface drip, subsurface drip, sprinkler, and micro-sprinkler) for intensive pitahaya cultivation, using a descriptive and comparative approach that integrated agronomic, physical, and hydraulic design with tools such as NASA POWER, FAO ETo Calculator, SPAW, IrriCAD, and AQUA, considering climatic, edaphic, and crop variables. The results show that surface drip achieved the highest hydraulic stability (flow variation of 1.33%), the lowest energy consumption ( $5\,581\text{ kWh ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ ), and an intermediate cost ( $\text{USD }4\,654\text{ ha}^{-1}$ ). Subsurface drip also shows high hydraulic stability (flow variation of 0.85%) but the highest cost ( $\text{USD }5\,238\text{ ha}^{-1}$ ) and intermediate energy consumption ( $6\,454\text{ kWh ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ ). Sprinkler shows high flow variability (25.9%) and fails on slopes greater than ten degrees. Micro-sprinkler has the lowest investment ( $\text{USD }3\,898\text{ ha}^{-1}$ ) and ease of design, but the highest energy consumption ( $8\,117\text{ kWh ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ ) and higher water consumption than surface drip. It is concluded that no single system simultaneously optimizes all three resources, but surface drip constitutes the most technically viable alternative under arid conditions, since it prioritizes water and energy efficiency over mere minimization of initial investment.

**Keywords:** *Arid soils, pitahaya, pressurized irrigation, surface drip, water efficiency.*

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR .....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
Autorización de Autoría Intelectual .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>19</b>
1.1 Antecedentes del problema.....	19
1.2 Planteamiento y formulación del problema .....	20
<i>1.2.1 Planteamiento del problema .....</i>	<i>20</i>
<i>1.2.2 Formulación del problema .....</i>	<i>21</i>
1.3 Justificación de la investigación .....	21
1.4 Delimitación de la investigación .....	22
1.5 Objetivo general .....	22
1.6 Objetivos específicos.....	22
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.1 Estado del arte.....	23
2.2 Bases teóricas .....	24
<i>2.2.1 Botánica y ecofisiología de la pitahaya .....</i>	<i>24</i>
2.2.1.1. Clasificación taxonómica.....	24
2.2.1.2. Descripción morfológica.....	24
2.2.1.3. Variedades comerciales .....	25
2.2.1.4. Densidad de siembra en sistemas intensivos.....	25
<i>2.2.2 Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de pitahaya.....</i>	<i>26</i>
<i>2.2.3 Relación agua - cultivo en suelos áridos .....</i>	<i>26</i>
2.2.3.1. Disponibilidad hídrica regional .....	26
2.2.3.2. Calidad del agua de riego .....	26
2.2.3.3. Evapotranspiración del cultivo (ET).....	27

<b>2.2.3.3.1. Evapotranspiración estándar el cultivo (ETc)</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2.3.3.2. Evapotranspiración de referencia del cultivo (ETo)</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2.3.3.3. Coeficiente de cultivo (Kc)</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.4 Sistemas de riego presurizado</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.4.1. Riego</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.4.2. Fundamentos del riego presurizado</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.5 Metodologías del riego presurizado</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.5.1. Riego por aspersión</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.5.1.1. Aspersión</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.5.1.2. Microaspersión</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.5.1.3. Difusores aéreos</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.5.1.4. Nebulización</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.5.2. Riego por goteo</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.5.2.1. Goteo superficial</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.5.2.2. Goteo subterráneo</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.5.3. Sistemas mecanizados de riego</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.5.3.1. Pivote central</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.5.3.2. Avance frontal o lateral móvil</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.5.3.3. Carrete enrollador o cañón viajero</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.6 Diseño agronómico</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.6.1. Fórmulas implementadas en el diseño agronómico</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2.6.1.1. Lámina disponible en la profundidad radicular – LDzr</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2.6.1.2. Volumen disponible a profundidad radicular – VDzr</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2.6.1.3. Lámina aprovechable profundidad radicular – LAzr</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2.6.1.4. Porcentaje de agua bajo riego – Par</b> .....	<b>33</b>
<b>2.2.6.1.5. Precipitación horaria del sistema de riego – Phr</b> .....	<b>34</b>
<b>2.2.6.1.6. Intervalo de riego – Ir</b> .....	<b>34</b>
<b>2.2.6.1.7. Ciclo de riego – CR</b> .....	<b>35</b>
<b>2.2.6.1.8. Lámina de riego ajustada – LR (aj)</b> .....	<b>35</b>
<b>2.2.6.1.9. Porcentaje de agua aprovechada, ajustado – Pa (aj)</b> .....	<b>36</b>
<b>2.2.6.1.10. Lámina bruta – LB</b> .....	<b>36</b>
<b>2.2.6.1.11. Dosis de riego bruto – DB</b> .....	<b>36</b>
<b>2.2.6.1.12. Horas de riego por turno – Ht</b> .....	<b>37</b>
<b>2.2.6.1.13. Máximo número de horas de riego diarias – Hm</b> .....	<b>37</b>

<b>2.2.6.1.14. Máximo número de turnos de riego diarios – Td.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.6.1.15. Horas de riego por día – Hd.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.6.1.16. Horas de riego por ciclo – Hc.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.6.1.17. Número de turnos por ciclo – Tc.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.6.1.18. Superficie bajo riego por turno – St.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.6.1.19. Dosis de riego bruta por turno – DBt.....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.6.1.20. Caudal requerido – Qr.....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.6.1.21. Descarga disponible en el sistema de riego – Qs.....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.6.1.22. Número de emisores por turno – Emt.....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.6.1.23. Volumen por ciclo en plantaciones de frutales – Vbc.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.6.1.24. Caudal específico – Qe.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.6.2. Programación de riego.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.6.3. Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.6.4. Uniformidad de distribución (UD) .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.6.5 Láminas de riego .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.7 Diseño físico .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.8 Diseño hidráulico.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.8.1. Pérdidas de carga (m.c.a.) .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.8.1.1. Fórmula de Hazen-Williams (HW).....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.8.1.2. Fórmula de Darcy-Weisbach (DW). .....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.8.1.3. Fórmula de Chezy-Manning (CM).....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.8.2. Velocidad del agua (m s<sup>-1</sup>).....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.9 Optimización energética y operativa .....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.9.1. Selección de bombas .....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.9.2. Criterios de eficiencia .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.9.3. Requerimientos energéticos (kWh ha<sup>-1</sup>) .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.10 Herramientas digitales .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.10.1. NASA POWER .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.10.2. ETo Calculator (FAO) .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.10.3. CropWat 8.0.....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.10.4. AquaCrop .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.10.5. SPAW Hydrology 6.0 .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.10.6. WinSIPP™3 .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.10.7. Pump Size.....</b>	<b>44</b>

2.2.10.8. IrriCAD .....	45
2.2.10.9. AutoCAD.....	45
2.3 Marco legal.....	45
2.3.1 Constitución de la Republica del Ecuador (2008).....	45
2.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hidricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014).....	45
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
3.1 Enfoque de la investigación .....	50
3.1.1 Tipo de investigación .....	50
3.1.2 Diseño de investigación.....	50
3.1.2.1. Investigación descriptiva .....	50
3.1.2.2. Investigación explorativa .....	50
3.2 Metodología .....	50
3.2.1 Variables.....	50
3.2.1.1. Variable independiente .....	50
3.2.1.1.1. Tipo de sistema de riego presurizado. ....	50
3.2.1.2. Variables dependientes.....	51
3.2.1.2.1. Diámetro de tuberías utilizadas, [mm]. ....	51
3.2.1.2.2. Velocidad del agua en las tuberías, [m s <sup>-1</sup> ]. ....	51
3.2.1.2.3. Pérdidas de carga totales en el sistema, [m.c.a.]. ....	51
3.2.1.2.4. Uniformidad de distribución del agua, [%]. ....	51
3.2.1.2.5. Requerimiento energético del sistema, [kWh ha <sup>-1</sup> ]. ....	51
3.2.1.2.6. Costo de inversión y operación, [USD ha <sup>-1</sup> ]. ....	51
3.2.2 Tratamientos .....	52
3.2.3 Diseño experimental.....	52
3.2.4 Recolección de datos.....	52
3.2.4.1. Recursos técnicos .....	52
3.2.4.2. Recursos humanos .....	52
3.2.4.3. Recursos tecnológicos .....	52
3.2.5 Métodos y técnicas.....	53
3.2.5.1. Métodos de investigación .....	53
3.2.5.1.1. Método inductivo. ....	53
3.2.5.1.2. Método deductivo. ....	53
3.2.5.1.3. Método descriptivo. ....	53

3.2.5.1.4. <i>Método analítico – comparativo</i> .....	53
3.2.5.2. <i>Técnicas de investigación</i> .....	53
3.2.5.2.1. <i>Recolección y análisis de datos climáticos</i> .....	53
3.2.5.2.2. <i>Descripción agronómica del cultivo</i> .....	53
3.2.5.2.3. <i>Análisis físico de suelo</i> .....	54
3.2.5.2.4. <i>Levantamiento topográfico y caracterización del predio</i> .....	54
3.2.5.2.5. <i>Análisis de la fuente de agua de riego</i> .....	54
3.2.5.2.6. <i>Diseño agronómico de los sistemas de riego</i> .....	54
3.2.5.2.7. <i>Diseño físico e hidráulico de los sistemas de riego</i> .....	54
3.2.5.2.8. <i>Selección de bombas</i> .....	55
3.2.5.2.9. <i>Análisis de costos de implementación</i> .....	55
3.2.6 <i>Población y muestra</i> .....	55
3.2.6.1. <i>Población</i> .....	55
3.2.6.2. <i>Muestra</i> .....	55
3.2.7 <i>Análisis estadístico</i> .....	55
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>56</b>
4.1 <b>Descripción de las características agronómicas para la implementación del cultivo intensivo de pitahaya (<i>Hylocereus</i> spp.) con riego presurizado en suelos áridos de la parroquia Progreso, Guayas</b> .....	<b>56</b>
4.1.1 <i>Clima</i> .....	56
4.1.2 <i>Cultivo</i> .....	56
4.1.3 <i>Suelo</i> .....	57
4.1.4 <i>Parcela</i> .....	58
4.1.5 <i>Fuente de agua</i> .....	58
4.2 <b>Realización del diseño agronómico, físico e hidráulico de los sistemas de riego presurizados por goteo superficial, goteo subterráneo, aspersión y microaspersión</b> .....	<b>59</b>
4.2.1 <i>Diseño agronómico</i> .....	59
4.2.1.1. <i>Selección de emisores para el diseño agronómico</i> .....	59
4.2.1.1.1. <i>Gotero PCJ-LCNL</i> .....	59
4.2.1.1.2. <i>Línea de goteo UniRam ASXR</i> .....	60
4.2.1.1.3. <i>Aspersor mini-Wobbler</i> .....	61
4.2.1.1.4. <i>Microaspersor RFR</i> .....	61
4.2.1.2. <i>Diseño agronómico de los sistemas de riego presurizados</i> ...	62

4.2.2 Diseño físico .....	63
4.2.3 Diseño hidráulico.....	63
4.2.3.1. Parámetros de diseños .....	63
4.2.3.2. Ajuste de sectorización.....	64
4.2.3.3. Goteo superficial – diseño hidráulico .....	64
4.2.3.4. Goteo subterráneo – diseño hidráulico .....	67
4.2.3.5. Aspersión – diseño hidráulico.....	69
4.2.3.6. Microaspersión – diseño hidráulico de módulos de riego.....	73
4.2.3.7. Potencia de operación del sistema de bombeo .....	75
4.2.3.7.1. Goteo superficial. ....	75
4.2.3.7.2. Goteo subterráneo.....	76
4.2.3.7.3. Aspersión. ....	77
4.2.3.7.4. Microaspersión. ....	78
4.2.3.8. Requerimiento energético de las metodologías de riego .....	79
4.3 Análisis de los costos de implementación de cada sistema de riego presurizado diseñado .....	80
4.3.1 Costos del sistema de riego por goteo superficial.....	81
4.3.2 Costos del sistema de riego por goteo subterráneo .....	82
4.3.3 Costos del sistema de riego por aspersión .....	83
4.3.4 Costos del sistema de riego por microaspersión.....	84
4.3.5 Estimación de costos totales de los sistemas de riego .....	85
4.3.6 Estructura de los costos del riego por goteo superficial.....	85
4.3.7 Estructura de los costos del riego por goteo subterráneo.....	86
4.3.8 Estructura de los costos del riego por aspersión .....	86
4.3.9 Estructura de los costos del riego por microaspersión.....	86
5. DISCUSIÓN .....	87
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
6.1 Conclusiones.....	89
6.2 Recomendaciones.....	90
BIBLIOGRAFÍA .....	91
ANEXOS .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos climáticos de la zona de estudio.....	56
Tabla 2. Coeficiente del cultivo (Kc) .....	57
Tabla 3. Evapotranspiración del cultivo .....	57
Tabla 4. Características del cultivo .....	57
Tabla 5. Análisis físico del suelo.....	58
Tabla 6. Área del predio .....	58
Tabla 7. Características hidráulicas del pozo .....	58
Tabla 8. Datos técnicos del gotero PCJ-LCNL .....	59
Tabla 9. Manguera PE ciega 16012 .....	60
Tabla 10. Datos técnicos de la línea de goteo UniRam ASXR .....	60
Tabla 11. Datos técnicos del aspersor mini-Wobbler .....	61
Tabla 12. Datos técnicos del microaspersor RFR .....	61
Tabla 13. Resultados de los diseños agronómicos .....	62
Tabla 14. Resultados de los diseños físicos.....	63
Tabla 15. Ajuste del número de módulos en el diseño hidráulico .....	64
Tabla 16. Diseño hidráulico de módulos – goteo superficial.....	64
Tabla 17. Diseño hidráulico de línea principal – goteo superficial .....	66
Tabla 18. Diseño hidráulico de módulos – goteo subterráneo.....	67
Tabla 19. Diseño hidráulico de línea principal – goteo subterráneo .....	69
Tabla 20. Diseño hidráulico de módulos – aspersión .....	69
Tabla 21. Diseño hidráulico de línea principal – riego por aspersión.....	72
Tabla 22. Diseño hidráulico del módulo de riego – microaspersión.....	73
Tabla 23. Diseño hidráulico de línea principal – microaspersión .....	74
Tabla 24. Parámetros de operación de la bomba – goteo superficial.....	75
Tabla 25. Parámetros de operación de la bomba – goteo subterráneo .....	76
Tabla 26. Parámetros de operación de la bomba – aspersión .....	77
Tabla 27. Parámetros de operación de la bomba – microaspersión.....	78
Tabla 28. Requerimiento energético de los sistemas de riego .....	80
Tabla 29. Costos de módulos – riego por goteo superficial .....	81
Tabla 30. Costos de la línea principal – riego por goteo superficial.....	81
Tabla 31. Costos de módulos – riego por goteo subterráneo .....	82
Tabla 32. Costos de la línea principal – riego por goteo subterráneo.....	82
Tabla 33. Costos de módulos – riego por aspersión .....	83

Tabla 34. Costos de la línea principal – riego por aspersión .....	84
Tabla 35. Costos de módulos – riego por microaspersión.....	84
Tabla 36. Costos de la línea principal – riego por microaspersión .....	85
Tabla 37. Estimación de costos totales .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de operación de la bomba – goteo superficial.....	76
Figura 2. Curva de operación de la bomba – goteo subterráneo.....	77
Figura 3. Curva de operación de la bomba – aspersión .....	78
Figura 4. Curva de operación de la bomba – microaspersión .....	79
Figura 5. Delimitación del área de estudio.....	99
Figura 6. Extracción de las variables climáticas en NASA POWER .....	99
Figura 7. Eto calculator de la FAO.....	100
Figura 8. Análisis físico del suelo .....	100
Figura 9. Características hidráulicas del suelo (SPAW) .....	101
Figura 10. Características hidráulicas del pozo .....	101
Figura 11. Gotero PCJ-LCNL .....	102
Figura 12. Línea de goteo UniRam ASXR .....	103
Figura 13. Manguera PE ciega 16012 .....	103
Figura 14. Aspersor mini-Wobbler .....	104
Figura 15. Microaspersor RFR .....	104
Figura 16. Revisión de diseños de riego.....	105
Figura 17. Parámetros hidráulicos .....	105
Figura 18. Parámetros económicos .....	106
Figura 19. Parámetros de análisis .....	106
Figura 20. Diseño agronómico – riego por goteo superficial.....	107
Figura 21. Diseño agronómico – riego por goteo subterráneo.....	107
Figura 22. Diseño agronómico – riego por aspersión .....	108
Figura 23. Diseño agronómico – riego por microaspersión .....	108
Figura 24. Diseño físico – riego por goteo superficial .....	109
Figura 25. Diseño físico – riego por goteo subterráneo .....	109
Figura 26. Diseño físico – riego por aspersión .....	110
Figura 27. Diseño físico – riego por microaspersión.....	110
Figura 28. Diseño hidráulico de módulos “A” – goteo superficial.....	111
Figura 29. Diseño hidráulico de módulos “B” – goteo superficial.....	111
Figura 30. Diseño hidráulico de línea principal – goteo superficial .....	112
Figura 31. Diseño hidráulico de módulos “A” – goteo subterráneo.....	113
Figura 32. Diseño hidráulico de módulos “B” – goteo subterráneo.....	113
Figura 33. Diseño hidráulico de línea principal – goteo subterráneo .....	114

Figura 34. Diseño hidráulico de módulos “A” – aspersión .....	114
Figura 35. Diseño hidráulico de módulos “B” – aspersión .....	115
Figura 36. Diseño hidráulico de módulos “C” – aspersión .....	115
Figura 37. Diseño hidráulico de línea principal – aspersión.....	116
Figura 38. Diseño hidráulico de módulos “A” – microaspersión.....	116
Figura 39. Diseño hidráulico de módulos “B” – microaspersión.....	117
Figura 40. Diseño hidráulico de línea principal – microaspersión.....	117
Figura 41. Equipo de bombeo – goteo superficial .....	118
Figura 42. Equipo de bombeo – goteo subterráneo .....	118
Figura 43. Equipo de bombeo – aspersión.....	119
Figura 44. Equipo de bombeo – microaspersión .....	119
Figura 45. Costos de materiales – goteo superficial.....	120
Figura 46. Costos de materiales – goteo subterráneo .....	120
Figura 47. Costos de materiales – aspersión .....	121
Figura 48. Costos de materiales – microaspersión.....	121
Figura 49. Diseño de distribuidoras y laterales – goteo superficial.....	122
Figura 50. Diseño de tuberías principales – goteo superficial .....	123
Figura 51. Diseño de distribuidoras y laterales – goteo subterráneo.....	124
Figura 52. Diseño de tuberías principales – goteo subterráneo .....	125
Figura 53. Diseño de distribuidoras y laterales – aspersión .....	126
Figura 54. Diseño de tuberías principales – aspersión.....	127
Figura 55. Diseño de distribuidoras y laterales – microaspersión.....	128
Figura 56. Diseño de tuberías principales – microaspersión .....	129

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes del problema

La pitahaya ecuatoriana experimenta un crecimiento significativo en su producción y exportación, consolidándose como uno de los productos agrícolas no tradicionales más importantes del país. Durante el primer semestre del 2025, se registran 6 442 millones de dólares en ventas, lo que representa un incremento del 30.7% en comparación con el mismo periodo del 2024, de acuerdo con datos del Banco Central del Ecuador. Este desempeño favorable se vincula con la apertura y diversificación de mercados internacionales como Estados Unidos, China, Perú, Reino Unido, Unión Europea, Canadá y Emiratos Árabes Unidos, lo que refleja el alto potencial de la pitahaya en el comercio global y resalta la importancia de consolidar sistemas de producción más tecnificados y sostenibles (El Comercio, 2025).

Ecuador cuenta con una gran disponibilidad de recursos hídricos, con un volumen aproximado de 43 0000 Hm<sup>3</sup> en invierno y 150 Hm<sup>3</sup> en verano; sin embargo, su distribución es irregular, lo que genera problemas de abastecimiento en algunas regiones. El consumo anual de agua alcanza los 9 700 Hm<sup>3</sup>, donde el 82% se destina al riego, el 12.5% al uso doméstico y el 5.5% al sector industrial (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2014).

En las últimas décadas, la gestión del recurso hídrico evoluciona desde un enfoque centrado en aumentar la oferta hacia una visión más integral que prioriza la optimización del uso del agua. Esta transición responde a las limitaciones actuales para ampliar la disponibilidad del recurso, lo que impulsa la necesidad de implementar estrategias que mejoren la eficiencia en su utilización. Debido a ello, la modernización de los sistemas de riego mediante tecnologías presurizadas se presentan como una herramienta clave para incrementar la productividad agrícola y mitigar impactos negativos como la salinización de suelos o el lavado excesivo de fertilizantes (Angella et al., 2017).

Los sistemas de riego presurizados presentan ventajas significativas en términos de eficiencia en el uso del agua y uniformidad en su distribución. Estas tecnologías permiten una aplicación localizada, lo que reduce las pérdidas por evaporación y escorrentía. Sin embargo, también implican costos más elevados de instalación y mantenimiento, así como la necesidad de un control técnico más

riguroso para garantizar su funcionamiento óptimo y evitar obstrucciones en los emisores (Agrocity, 2024).

## **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

El déficit hídrico en el cultivo de pitahaya (*Hylocereus* spp.), genera alteraciones fisiológicas que inciden de forma negativa en la emisión de brotes, la inducción floral y el desarrollo óptimo de los frutos, lo cual repercute en una disminución del rendimiento y calidad comercial del producto. Esta problemática se origina, en muchos casos, por una planificación deficiente o un diseño inadecuado del sistema de riego, que impide satisfacer de manera eficiente las necesidades hídricas del cultivo durante sus etapas fenológicas más críticas. Morales et al. (2013), aseguran que esta condición genera consecuencias adversas en el desarrollo y productividad de las plantas, provoca alteraciones anatómicas debido a la reducción del tamaño celular, acelera procesos de senescencia e incluso causa la muerte en diversas especies.

En la parroquia rural Juan Gómez Rendón - Progreso, perteneciente al cantón Guayaquil, provincia del Guayas, donde los suelos predominantes en esta zona se caracterizan por ser áridos, los productores agrícolas enfrentan una problemática recurrente: el limitado acceso al recurso hídrico, lo que compromete la sostenibilidad de cultivos intensivos como la pitahaya. Aunque algunos agricultores se abastecen a través de canales provenientes del trasvase Daule - Santa Elena, muchos predios, como en el caso del presente estudio, dependen de pozos como única fuente principal de riego. Esta situación, sumada a la topografía irregular del terreno, impone retos técnicos que demandan una correcta planificación hidráulica para evitar pérdidas económicas y garantizar la eficiencia operativa.

La falta de criterios técnicos adecuados en el dimensionamiento de bombas, tuberías y demás componentes del sistema de riego ocasiona ineficiencias en el uso del agua, disminución del rendimiento agrícola y encarecimiento de los costos operativos. Ante esta problemática, surge la necesidad de comparar distintos sistemas de riego presurizado aplicados al cultivo, con la finalidad de optimizar el uso del agua, mejorar la rentabilidad del sistema y proporcionar una base técnica que oriente a los agricultores en la elección del sistema más eficiente y viable desde el punto de vista económico, según las condiciones particulares del predio.

### **1.2.2 Formulación del problema**

¿Cuál es la metodología de riego que optimiza el uso energético, consumo hídrico y costos de producción en cultivos intensivos de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en suelos áridos de la parroquia Progreso, Guayas?

### **1.3 Justificación de la investigación**

La pitahaya (*Hylocereus* spp.), también conocida como fruta del dragón, es una especie cactácea tropical de alto valor comercial y nutricional. Su cultivo no puede establecerse en cualquier región del mundo, ya que requiere condiciones agroclimáticas específicas, entre ellas temperaturas cálidas, baja humedad relativa, buena radiación solar y suelos bien drenados. En Ecuador, el cantón Palora perteneciente a la provincia de Morona Santiago, cuenta con denominación de origen, debido a la calidad diferenciada de su producción. No obstante, en vía a la Costa, en sectores productivos como la parroquia Progreso y zonas aledañas, se ha registrado un creciente número de productores que, pese a no contar con esta denominación, han logrado consolidarse como parte del grupo de exportadores de pitahaya hacia mercados internacionales.

Una de las razones que ha impulsado la alta demanda de la pitahaya en el mercado internacional es su composición fitoquímica. Según Verona-Ruiz et al. (2020), la pitahaya es un fruto de bajo valor calórico, rico en vitamina C y con alto poder antioxidante, lo que favorece la producción de colágeno y retrasa el envejecimiento. Además, contiene betalainas, pigmentos naturales con potencial como colorantes alimentarios. También se asocia su consumo con la reducción de la presión arterial, alivio de problemas estomacales y prevención de enfermedades como la obesidad, diabetes y cáncer de colon.

En zonas áridas como lo es la zona de estudio, donde el recurso hídrico es limitado, la implementación de sistemas de riego presurizados adquiere una relevancia estratégica, ya que no solo contribuye a la optimización y uso racional del agua, sino que también permite alcanzar una mayor eficiencia en la producción agrícola al garantizar una distribución uniforme y controlada del recurso. Además, estas tecnologías ofrecen la posibilidad de integrar prácticas avanzadas como la fertirrigación, lo que facilita un manejo más preciso del cultivo al suministrar de manera simultánea agua y nutrientes en las dosis requeridas por la planta, esto mejora la productividad, la calidad de los frutos y la sostenibilidad del sistema agrícola en el tiempo.

#### 1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La investigación se desarrolló en el Km 61 de la Vía a la Costa, parroquia rural Juan Gómez Rendón – Progreso, perteneciente al cantón Guayaquil, provincia del Guayas ubicada entre las localidades de Cerecita y San Isidro. Sus coordenadas geográficas corresponden al sistema UTM, Zona 17M, con una posición Este (E) de 575 916.98 metros y Norte (N) de 9 737 683.25 metros.
- **Tiempo:** El estudio se llevó a cabo durante un periodo de seis meses.
- **Población:** La investigación se orientó a diversos productores agrícolas, administradores de fincas y técnicos responsables de los sistemas de riego de la zona.

#### 1.5 Objetivo general

Evaluar alternativas de riego presurizado con software de diseño para el cultivo intensivo de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en suelos áridos de la parroquia Progreso, Guayas.

#### 1.6 Objetivos específicos

- Describir las características agronómicas para la implementación del cultivo intensivo de pitahaya (*Hylocereus* spp.) con riego presurizado en suelos áridos de la parroquia Progreso, Guayas
- Realizar el diseño agronómico, físico e hidráulico de los sistemas de riego presurizados por goteo superficial, goteo subterráneo, aspersión y microaspersión.
- Analizar los costos de implementación de cada sistema de riego presurizado diseñado.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del arte

Nikolaou et al. (2020), han evaluado sistemas presurizados en 12 cultivos mediterráneos mediante sensores y modelado HYDRUS, se determinó que el goteo alcanzó 80-90% de eficiencia aplicativa al superar al riego por superficie en un 40%, así mismo, elevó la productividad hídrica en tomate bajo invernadero a  $80 \text{ kg m}^{-3}$ , aunque alertan sobre riesgos de salinización con aguas residuales. Posterior a esto, Bringas-Burgos et al. (2020), han comparado el riego por gravedad y goteo subsuperficial en alfalfa, se reportó un 63% de ahorro hídrico al requerirse  $416571 \text{ l ton}^{-1}$  frente a  $1'116288 \text{ l ton}^{-1}$  y 87% menos plagas con goteo, pero con alta dependencia de insumos externos.

Así mismo, Cisneros-Zayas et al. (2020), han analizado pivotes centrales en papa, se demostró que la programación basada en demanda redujo 23% el agua y 8.8% la energía, aunque con baja correlación energía-producción ( $R^2=0.57$ ). El estudio de Vargas-Rodríguez et al. (2021), se centró en la optimización del goteo en naranja mediante pruebas de campo y potencial hídrico, se logró un 15% de ahorro hídrico y reducción de frecuencia de riego con cuatro emisores por planta. A continuación, Jahangirpour y Zibaei (2022), desarrollan una simulación relacionada con la adopción de riego moderno en Irán donde el goteo generó mayores retornos netos en cebada al alcanzar  $244 \text{ USD ha}^{-1}$  mientras que el riego superficial reporto retornos de  $218 \text{ USD ha}^{-1}$ . No obstante, esta mejora en la rentabilidad presenta un aumento del 15% en costos energéticos.

En 2024, Araya-Portuguez y Fuentes-Quirós, implementan un sistema automatizado de aspersion en el cultivo de chayote en Costa Rica, los cual les permitió reducir costos laborales de 30.3 millones USD, a 5.4 millones USD anuales en un periodo de cinco años y pérdidas hídricas al 5%. En paralelo, Sánchez-Olivo y Pérez-Leira (2024), reportan resultados de 16 fincas en Ecuador, donde el riego localizado muestra mayor coeficiente de uniformidad con 72.7%, frente al 52.3% en aspersion. Sin embargo, la falta de filtros redujo la eficiencia del sistema en un 40%. Por último, Carriço et al. (2025), presentan la validación de la herramienta computacional AGIR, la cual muestra una eficiencia superior en sistemas de riego por goteo, con un 90% de eficiencia en el uso del agua, en comparación con un 78% registrado en sistemas de pivote bajo condiciones de viento superiores a  $3 \text{ m s}^{-1}$ .

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Botánica y ecofisiología de la pitahaya

#### 2.2.1.1. Clasificación taxonómica

Bauer (2003, como se citó en Verona-Ruiz et al., 2020), indica que la pitahaya se distribuye en dos géneros diferenciados: *Hylocereus* y *Selenicereus*. Las variedades de mayor relevancia agronómica corresponden a *Hylocereus*, género que comprende a 16 especies mencionadas a continuación:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Tribu: Hylocereeae

Género: *Hylocereus*

Especies: *H. extensus* (Salm-Dyck ex De Candolle.), *H. setaceus* (Salm-Dyck ex De Candolle), *H. tricae* (Hunt), *H. minutiflorus* Br. And R., *H. megalanthus* (Schum. Ex Vaupel), *H. stenopterus* (Weber) Br. And R., *H. calcaratus* (Weber) Br. And R., *H. undatus* (Haw.) Br. And R., *H. Escuintlensis* (Kimn.), *H. ocamponis* (Salm-Dyck) Br. And R., *H. guatemalensis* (Eich.) Br. And R., *H. purpusii*, *H. costaricensis* (Weber) Br. And R., *H. trigonus* (Haw.) Safford, *H. triangularis* (L.) Br. And R., *H. monacanthus*

#### 2.2.1.2. Descripción morfológica

El cactus de pitahaya es una planta epífita perenne con tallos suculentos, triangulares y segmentados, que pueden alcanzar hasta 6 m de largo. Sus tallos presentan tres alas onduladas con bordes dentados y pequeñas espinas, de 1 a 3 por costilla y 1.5 cm de grosor; aunque su número varía según la especie. Emite raíces aéreas desde la base, que le permiten adherirse a árboles, rocas u otras superficies. Sus flores son grandes, con un aproximado 30 cm de largo y 23 cm de ancho, con forma de campana, de color verde en el exterior y blanco en el interior, y desprenden una fuerte fragancia. Estas se abren de noche y se cierran al amanecer, un rasgo adaptado a la polinización por murciélagos o polillas (Le Bellec y Vaillant, 2011).

El fruto presenta una morfología elipsoidal, clasificado como baya, con dimensiones promedio de 10-12 cm de diámetro, varían según la especie. La mayoría de los cultivares muestran un pericarpio carnoso cubierto por brácteas triangulares de superficie cerosa. En su interior contiene una masa pulposa semitransparente que alberga numerosas semillas de color negro. Cabe destacar que la especie *Selenicereus megalanthus* se distingue por presentar una epidermis amarilla con protuberancias y presencia de espinas (Corzo-Rios et al., 2017).

#### **2.2.1.3. Variedades comerciales**

Las principales especies comerciales de pitahaya cultivadas a nivel mundial incluyen *Hylocereus undatus*, de pulpa blanca y cáscara roja; *Hylocereus costaricensis*, de pulpa y cáscara rojas; y *Hylocereus megalanthus*, clasificada como *Selenicereus megalanthus*, reconocible por su cáscara amarilla y pulpa blanca. Esta diversidad de especies ofrece variaciones en características agronómicas y cualidades organolépticas, todas ellas de importancia económica en la fruticultura tropical (Lim, 2012).

#### **2.2.1.4. Densidad de siembra en sistemas intensivos**

En el cultivo de pitahaya se emplean diferentes densidades de siembra según la configuración espacial del sistema productivo, donde una densidad de 1250 plantas por hectárea se logra con una distribución de dos metros entre plantas y cuatro entre hileras, mientras que una menor densidad de 1000 plantas por hectárea requiere una mayor separación entre plantas de 2.5 metros mientras que mantienen los cuatro metros entre hileras. Para sistemas con menor intensidad de plantación, se utiliza un arreglo de tres metros entre plantas y cuatro entre hileras, lo que permite una densidad de 833 plantas por hectárea y un mayor desarrollo vegetativo individual, pero con menor aprovechamiento del área cultivable. Estas variaciones en los marcos de plantación responden a diferentes estrategias de manejo agronómico, condiciones edafoclimáticas y objetivos productivos específicos (Vargas et al., 2020).

En el cultivo intensivo, la configuración espacial debe optimizar la densidad poblacional entre 2222 y 3333 plantas por hectárea mientras previene la erosión en terrenos con pendiente, mediante trazo en curvas a nivel con un metro entre plantas y tres metros entre surcos, para alcanzar alrededor de 3300 plantas por hectárea, complementado con terrazas individuales (Agricultura Sostenible México, 2024).

### **2.2.2 Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de pitahaya**

El desarrollo óptimo de la pitahaya requiere suelos con características específicas, destacándose aquellos de textura franca con excelente capacidad de drenaje, un rango de acidez ligero (pH entre 5.5 y 6.5) y elevada concentración de materia orgánica. En cuanto a las condiciones climáticas, este cultivo muestra mejor adaptación en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1850 metros, con un régimen pluviométrico anual comprendido entre 650 y 1500 milímetros. La temperatura ideal para su crecimiento oscila entre los 18 y 27 °C, condiciones que favorecen los procesos fisiológicos y productivos de la especie (Mora, 2011).

### **2.2.3 Relación agua - cultivo en suelos áridos**

#### **2.2.3.1. Disponibilidad hídrica regional**

El agua cumple un papel central en casi todos los fenómenos naturales y en los ciclos biogeoquímicos del planeta. Sin embargo, su aprovechamiento práctico enfrenta barreras propias: aunque la Tierra contiene grandes volúmenes de agua, su presencia en el lugar y época adecuados, junto a su nivel de pureza, no siempre se ajusta a lo que requieren los seres humanos ni los ecosistemas. Por ello, calcular con exactitud los volúmenes de agua y sus cambios en el tiempo resulta indispensable para lograr suficientes alimentos, mantener fuentes de energía perdurables y conservar la armonía entre la sociedad y el ambiente (Lozano-Parra, 2018).

En zonas secas, la falta de agua es un freno principal para las tareas del hogar, la cría de animales y los cultivos. Allí, el calor provoca una evaporación alta, lo que hace que lagos y ríos desaparezcan con rapidez. Esta condición ha llevado a crear métodos para extraer agua del subsuelo y construir canales que la lleven a zonas de cultivo o pastoreo. Los acuíferos se recargan cuando la lluvia se filtra en el suelo. Para asegurar el acceso al agua en estos lugares, se usan distintas medidas técnicas y legales, como: recolección de lluvia, construcción de tuberías o canales, perforación de pozos, uso de riego presurizado (por goteo o aspersión) y creación de reglas para el uso y la protección del agua (Ministerio del Ambiente [MAE], 2013).

#### **2.2.3.2. Calidad del agua de riego**

Para el riego, hay que examinar tres aspectos del agua: sus cualidades físicas, sus cualidades químicas y la cantidad disponible. En el primer grupo, la cantidad de partículas sólidas en flote es muy importante, pues de ese dato

depende la elección de los goteros o emisores y de los filtros, con el fin de evitar tapones en el sistema de riego. En el segundo grupo entran parámetros como el pH, la salinidad (conductividad eléctrica), las proporciones de aniones y cationes, y la relación de sodio. Esta información, sumada al análisis del suelo, sirve de base para corregir la mezcla de nutrientes en el suelo y para que la fertirrigación trabaje de forma correcta. Por último, la rentabilidad de la inversión descansa en si se cuenta o no con el agua necesaria (Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera [CENID-RASPA] e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales [INIFAP], 2004).

### **2.2.3.3. Evapotranspiración del cultivo (ET)**

La evapotranspiración (ET) es la pérdida completa de agua en un cultivo. Esta pérdida suma dos procesos: por un lado, el agua que se evapora desde la superficie del suelo; por otro, el agua que las plantas expulsan a través de sus hojas hacia el aire en su transpiración (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2006).

#### **2.2.3.3.1. Evapotranspiración estándar el cultivo (ETc).**

Este valor refleja el total de agua que se pierde por evaporación desde el suelo y por transpiración de las hojas, en cultivos sin enfermedades, bien nutridos, con un manejo agrícola excelente, que crecen en parcelas grandes y con agua abundante (sin restricciones). De este modo, los cultivos alcanzan su mayor producción posible según el clima de la zona (FAO, 2006). Se lo puede calcular de la siguiente manera:

$$ETc[mm/día] = ET_o * Kc$$

Donde:

**ETc:** Evapotranspiración estándar del cultivo, [mm/día].

**ETo:** Evapotranspiración de referencia del cultivo, [mm/día].

**Kc:** Coeficiente del cultivo.

#### **2.2.3.3.2. Evapotranspiración de referencia del cultivo (ETo).**

Este indicador mide el agua que se pierde por evaporación desde el suelo y por transpiración de las hojas, en un cultivo teórico con un follaje uniforme, que crece con el suelo bien húmedo y sin escasez de agua. Dicho valor representa lo que el ambiente exige en términos de agua, sin que influya la clase de cultivo, sus rasgos biológicos ni las labores agrícolas. Tras un consenso técnico alcanzado en 1990 por especialistas en hidrología y agrometeorología, la ecuación FAO Penman-

Monteith fue adoptada como metodología universal para estimar este parámetro, aunque se puede estimar mediante la evaporación del tanque evaporímetro Clase A como otra alternativa (FAO, 2006). A continuación, se muestra la ecuación:

$$ET_o[\text{mm día}^{-1}] = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

$ET_o$  : Evapotranspiración de referencia, [mm día<sup>-1</sup>].

$R_n$  : Radiación neta en la superficie del cultivo, [MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>].

$G$  : Flujo del calor de suelo, [MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>].

$T$  : Temperatura media del aire a 2 m de altura, [°C].

$u_2$  : Velocidad del viento a 2 m de altura, [m s<sup>-1</sup>].

$e_s$  : Presión de vapor de saturación, [kPa].

$e_a$  : Presión real de vapor, [kPa].

$e_s - e_a$  : Déficit de presión de vapor, [kPa].

$\Delta$  : Pendiente de la curva de presión de vapor, [kPa °C<sup>-1</sup>].

$\gamma$  : Constante psicrométrica, [kPa °C<sup>-1</sup>].

### **2.2.3.3.3. Coeficiente de cultivo (Kc).**

El coeficiente de cultivo (Kc) es la razón entre la evapotranspiración real de un cultivo (Etc) y la evapotranspiración de referencia (Eto). Dicha razón toma en cuenta las diferencias en la cobertura vegetal y los rasgos fisiológicos de cada planta. Este valor puede usarse de dos formas: como un número único que engloba tanto la transpiración vegetal como la evaporación del suelo; o bien, separado en dos partes independientes: el coeficiente basal (Kcb), que solo refleja la transpiración, y el coeficiente de evaporación (Ke), que solo mide la pérdida desde el suelo. Esta separación permite un cálculo más fino del agua que necesita el cultivo en cada fase de su desarrollo (FAO, 2006).

## **2.2.4 Sistemas de riego presurizado**

### **2.2.4.1. Riego**

El riego es la acción de aportar agua al suelo con el fin de cubrir lo que requieren los cultivos. Hay distintas maneras de irrigar parcelas, las cuales se agrupan en dos: métodos de riego por gravedad o superficial, y métodos a presión. En el primer grupo se encuentran el riego por melgas, el riego por bordes y el riego

por surcos. En cambio, los métodos a presión incluyen el riego por goteo y el riego con aspersores (Anjum et al., 2023).

#### **2.2.4.2. Fundamentos del riego presurizado**

Un sistema de riego presurizado funciona como un conducto cerrado en el que el agua se desplaza gracias a un gradiente de presión (Christiansen, 1942; Gómez Pompa, 1974); este sistema se conforma por unidades de riego con distintos tipos de emisores y líneas regantes, tuberías de distribución y conducción, así como el cabezal de control. Para su diseño es indispensable conocer las características hidráulicas de cada componente, de manera que se garantice una distribución uniforme y eficiente del agua de riego, se reduzcan los costos operativos y se logre un mejor desempeño productivo en términos de rendimiento y calidad.

#### **2.2.5 Metodologías del riego presurizado**

##### **2.2.5.1. Riego por aspersión**

###### **2.2.5.1.1. Aspersión.**

El riego mediante aspersión es una de las técnicas más empleadas en la agricultura actual debido a su capacidad para distribuir el agua de forma uniforme sobre los cultivos con el objetivo de imitar la precipitación natural. Su rendimiento está condicionado por variables como la presión de operación, el caudal aplicado y el grado de uniformidad alcanzado. En sistemas de cacao, por ejemplo, se pueden obtener altos coeficientes de uniformidad al trabajar con presiones cercanas a 275.79 kPa; sin embargo, esto no asegura que toda la superficie reciba la lámina de riego requerida (Román López et al., 2013; Tandazo Garcés et al., 2018).

###### **2.2.5.1.2. Microaspersión.**

La microaspersión es un método de riego presurizado que aplica el agua en forma de finas gotas sobre la superficie del cultivo, se logra así una distribución más homogénea y eficiente en comparación con los sistemas convencionales. En México, los sistemas de riego superficial presentan una eficiencia global inferior al 50%, mientras que los sistemas presurizados, como la microaspersión, pueden alcanzar eficiencias teóricas que oscilan entre el 55% y el 95%. Sin embargo, en condiciones reales de operación, se han reportado eficiencias absolutas de aplicación cercanas al 54%, aunque dependen del diseño hidráulico y el manejo técnico del sistema (Román López et al., 2013).

### **2.2.5.1.3. Difusores aéreos.**

El riego mediante difusores aéreos, conocido también como aspersión aérea, es un sistema empleado con frecuencia en viveros, cultivos hortícolas y en ciertos cultivos de gran extensión. Este método aplica el agua en forma de gotas que caen sobre el cultivo, con el objetivo de imitar la lluvia natural. Su eficiencia está determinada por la uniformidad en la distribución del agua, el tamaño de las gotas generadas y factores ambientales como la velocidad del viento y la presión de funcionamiento del sistema (Connor Ferguson et al., 2020; Spinelli et al., 2024).

### **2.2.5.1.4. Nebulización.**

El riego por nebulización, conocido también como riego por niebla o mist irrigation, se basa en la aplicación de agua en forma de microgotas que generan una neblina alrededor de las plantas. Este método mantiene elevados niveles de humedad ambiental y proporciona un suministro hídrico eficiente, lo que genera que sea adecuado para viveros, hortalizas y cultivos en ambientes controlados. Investigaciones evidencian que este sistema puede disminuir el consumo de agua respecto al riego por goteo; sin embargo, su uso implica un mayor consumo energético debido al funcionamiento constante de los nebulizadores (Murtiningrum et al., 2022; Miranda et al., 2025).

## **2.2.5.2. Riego por goteo**

### **2.2.5.2.1. Goteo superficial.**

El riego por goteo superficial lleva el agua de forma directa a la raíz de las plantas por medio de una red de tuberías y goteros que reposan sobre el suelo. Este tipo de riego destaca por su alto uso eficiente del agua, con valores de 90 a 95 %, lo cual reduce las pérdidas por escurrimiento y evaporación que son típicas de las técnicas de riego habituales (Verma et al., 2021; Moursy et al., 2023).

### **2.2.5.2.2. Goteo subterráneo.**

El riego por goteo subterráneo usa tuberías y emisores enterrados para suministrar agua directo al sistema radicular, de esta manera se optimiza su absorción, así como la reducción de pérdidas por evaporación y escurrimiento. Este sistema no solo eleva el aprovechamiento del agua y promueve un desarrollo parejo de las raíces, sino que también posibilita una dosis exacta de fertilizantes. Por todo esto, se le considera una opción sustentable y de alto rendimiento en zonas con poca agua o con presencia de sales en el suelo (Forsslund et al., 2012).

### **2.2.5.3. Sistemas mecanizados de riego**

#### **2.2.5.3.1. Pivote central.**

El sistema de riego por pivote central utiliza una estructura mecanizada compuesta por una tubería con aspersores que rota alrededor de un punto fijo, permiten así regar el cultivo en un patrón circular. Este método destaca por su eficiencia y uniformidad en la distribución del agua, además de su adaptabilidad a suelos con topografía variable y sus bajos costos de operación y mantenimiento, lo que lo convierte en una de las opciones más utilizadas a nivel mundial (Waller y Yitayew, 2016; Zhang et al., 2021).

#### **2.2.5.3.2. Avance frontal o lateral móvil.**

El riego por avance frontal, también conocido como lateral móvil, consiste en una estructura mecanizada con aspersores que se mueve en línea recta a lo largo del terreno, permiten irrigar de forma uniforme grandes áreas rectangulares. Este sistema se caracteriza por su elevada uniformidad en la aplicación del agua; sin embargo, factores ambientales como la velocidad del viento pueden disminuir su eficiencia, ya que provoca variaciones en la distribución y aumentan las pérdidas por evaporación y deriva (Faria et al., 2019; Manke et al., 2019).

#### **2.2.5.3.3. Carrete enrollador o cañón viajero.**

El sistema de riego por carrete enrollador, también conocido como cañón viajero, emplea un gran aspersor instalado en un carro móvil que se conecta a una manguera enrollada en un carrete, la cual se desenrolla y enrolla de forma automatizada para regar diferentes áreas del campo. Este método es valorado por su flexibilidad y su baja inversión por hectárea cubierta, adaptándose a parcelas de diversas dimensiones y formas (Ghinassi, 2010; Rolim y Teixeira, 2016).

### **2.2.6 Diseño agronómico**

El diseño agronómico consiste en definir cuánta agua se necesita, cada cuánto tiempo y en qué momento del día o de la etapa del cultivo se debe aplicar. Para ello se toman en cuenta lo que la planta requiere y las condiciones del suelo y el clima. El objetivo es un uso eficaz del agua y una producción alta. Este plan mezcla datos sobre la humedad del suelo, la fase de crecimiento de la planta y cómo varía el terreno de un punto a otro. De esta forma se ajustan las dosis de riego con precisión y de modo sustentable para cada fase o cada sector del cultivo. Se emplean aparatos de medición y herramientas que ayudan a tomar decisiones, lo cual facilita mejorar la cosecha y proteger el agua (Neupane y Guo, 2019).

### 2.2.6.1. Fórmulas implementadas en el diseño agronómico

Avidan (1994), detalla a continuación las fórmulas usadas para el diseño agronómico:

#### 2.2.6.1.1. Lámina disponible en la profundidad radicular – *LDzr*.

La lámina de agua disponible en el perfil del suelo ocupado por las raíces del cultivo se calcula de la siguiente manera:

$$LDzr[mm\ zr^{-1}] = (HCc - HPm) * \left(\frac{Pea}{Pew}\right) * zr * 10$$

Donde:

***LDzr*** : Lámina de agua disponible, en mm. De agua, a la profundidad radicular efectiva, [mm zr<sup>-1</sup>].

***HCc*** : Contenido de humedad, a capacidad de campo a base del peso seco del suelo, [%ws].

***HPm*** : Contenido de humedad, en el punto de marchitez permanente, a base del peso seco del suelo, [%ws].

***Pea*** : Peso específico aparente del suelo, [g cm<sup>-3</sup>].

***Pew*** : Peso específico del agua, [g cm<sup>-3</sup>].

***zr*** : Profundidad radicular efectiva del cultivo, [m].

El factor 10 convierte los datos a [mm zr<sup>-1</sup>] [a la profundidad radicular efectiva].

#### 2.2.6.1.2. Volumen disponible a profundidad radicular – *VDzr*.

$$VDzr[m^3\ Ha^{-1}\ zr^{-1}] = LDzr * 10$$

Donde:

***VDzr*** : Volumen de agua disponible, en m<sup>3</sup> de agua, a la profundidad radicular efectiva, [m<sup>3</sup> Ha<sup>-1</sup> zr<sup>-1</sup>].

***LDzr*** : Lámina de agua disponible, en mm de agua, a la profundidad radicular efectiva, [mm zr<sup>-1</sup>].

El factor 10 convierte mm zr<sup>-1</sup> a m<sup>3</sup> Ha<sup>-1</sup> zr<sup>-1</sup>.

#### 2.2.6.1.3. Lámina aprovechable profundidad radicular – *LAzr*.

El máximo porcentaje del agua disponible que el cultivo puede aprovechar sin que disminuya su rendimiento.

$$LAzr[mm\ zr^{-1}] = \frac{LDzr * Pa}{100}$$

Donde:

**LAzr** : Lámina de agua aprovechable en zona radicular efectiva, [mm zr<sup>-1</sup>].

**LDzr** : Lámina de agua disponible, en mm. de agua, a la profundidad radicular efectiva, [mm zr<sup>-1</sup>].

**Pa** : Máximo porcentaje de agua aprovechable por el cultivo, [%].

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal

#### **2.2.6.1.4. Porcentaje de agua bajo riego – Par.**

El porcentaje del área bajo riego, Par [%], depende del emplazamiento del emisor y del diámetro de cobertura efectivo, d [m] de este.

- **Para el riego por aspersión:** Por definición, Par = 100%.
- **Para el riego por microaspersión:** El porcentaje del área bajo riego, se calcula con la siguiente formula:

$$Par[\%] = \frac{100 * 0.785 * d^2}{de * dl} * \frac{\alpha}{360^\circ}$$

Donde:

**Par** : Porcentaje del área bajo riego, [%].

**d** : Diámetro de cobertura del emisor, [m].

**de** : Distancia entre emisores contiguos sobre el lateral, [m].

**dl** : Distancia entre laterales contiguos, [m].

$\alpha$  : Ángulo cubierto por el emisor, [°].

$\alpha$  : 360° para goteros y emisores comunes.

$\alpha$  : < 360° para emisores sectoriales.

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal

- **Para el riego por microaspersión:** El porcentaje del área bajo riego para plantaciones de árboles frutales (u otros cultivos espaciados) es posible emplear la siguiente formula:

$$Par[\%] = \frac{100 * 0.785 * Nep * d^2}{dp * dh} * \frac{\alpha}{360^\circ}$$

Donde:

**Par** : Porcentaje del área bajo riego, por planta, [%].

**d** : Diámetro de cobertura del emisor, [m].

**Nep** : Número de emisores por planta, [-].

**dp** : Distancia entre plantas contiguos sobre la hilera, [m].

**dh** : Distancia entre hileras contiguas, [m].

$\alpha$  : Ángulo cubierto por el emisor, [°].

$\alpha$  : 360° para goteros y emisores comunes.

$\alpha$  : < 360° para emisores sectoriales.

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal.

- **Para el riego por goteo:** El espaciamiento entre goteros puede ser calculada por la siguiente formula:

$$db[m] = \left( \frac{qe}{0.785 * I} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

**db** : Diámetro del bulbo humedecido, [m<sup>2</sup>].

**qe** : Caudal del emisor, [mm h<sup>-1</sup>].

**I** : Velocidad de infiltración básica, [mm h<sup>-1</sup>].

#### **2.2.6.1.5. Precipitación horaria del sistema de riego – Phr.**

Se calcula a base del caudal del emisor,  $qe$  [lt h<sup>-1</sup>] y del área efectiva.

$$Phr[mm h^{-1}] = \frac{qe * 100}{de * dl * Par}$$

Donde:

**Phr** : Precipitación horaria del sistema de riego, [mm h<sup>-1</sup>].

**qe** : Caudal de emisor, [lt h<sup>-1</sup>].

**de** : Distancia entre emisores contiguos sobre el lateral, [m].

**dl** : Distancia entre laterales contiguos, [m].

**Par** : Porcentaje del área bajo riego, [%].

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal.

A continuación, es necesario comparar la precipitación horaria  $Phr$ , con la velocidad de infiltración del suelo,  $I$ .

$$Phr[mm h^{-1}] < I[mm h^{-1}]$$

Donde:

**Phr** : Precipitación horaria del sistema de riego, [mm h<sup>-1</sup>].

**I** : Velocidad de infiltración básica, [mm h<sup>-1</sup>].

El riego por aspersión y por microaspersión la precipitación horaria del emisor debe ser inferior a la velocidad de infiltración básica del suelo a fin de evitar pérdidas y daños por escurrimiento superficial.

#### **2.2.6.1.6. Intervalo de riego – Ir.**

El intervalo de riego  $Ir$  [días], cuenta los días entre dos riegos sucesivos en la misma posición. El intervalo de riego depende de la lámina de agua aprovechable

Lazr [mm], del porcentaje del área bajo riego, Par y del consumo diario del cultivo Etc [mm día<sup>-1</sup>].

$$Ir[\text{días}] = \frac{LAzr * Par}{ETc * 100}$$

Donde:

**Ir** : Intervalo de riego, [días].

**LAzr** : Lámina de agua aprovechable en zona radicular efectiva, [mm zr<sup>-1</sup>].

**ETc** : Evapotranspiración del cultivo, [mm día<sup>-1</sup>].

**Par** : Porcentaje del área bajo riego, [%].

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal.

En caso de que el cálculo del intervalo de riego Ir [días] resulte en una fracción decimal, será necesario “ajustarlo para abajo”, a fin de obtener un número entero de días.

#### **2.2.6.1.7. Ciclo de riego – CR.**

El ciclo de riego, CR [días], es el número entero de días durante el cual se riega una parcela determinada.

Al determinar el ciclo de riego se ha de incluir un factor de seguridad, ya que alguna falla imprevista en el sistema de bombeo o del sistema de riego; la necesidad de realizar determinadas labores agrícolas o aún, días feriados, pueden posponer el riego. Por lo tanto, el ciclo de riego debe ser más corto que el intervalo de riego.

$$CR[\text{días}] = Ir(aj) - dp$$

Donde:

**CR** : Ciclo de riego, [días ciclo<sup>-1</sup>].

**Ir(aj)** : Intervalo de riego ajustado, [días].

**dp** : Días de paro, [días].

#### **2.2.6.1.8. Lámina de riego ajustada – LR (aj).**

A base del intervalo de riego ajustado, Ir (aj) [días], de Etc [mm día<sup>-1</sup>], y del porcentaje del área bajo riego, Par, se determina la lámina de riego ajustada.

$$LR(aj)[\text{mm}] = \frac{Ir(aj) * ETc * 100}{Par}$$

Donde:

**LR(aj)** : Lámina de riego ajustada, [mm].

**Ir(aj)** : Intervalo de riego ajustado, [días].

**ETc** : Evapotranspiración del cultivo, [mm día<sup>-1</sup>].

**Par** : Porcentaje del área bajo riego, [%].

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal.

#### **2.2.6.1.9. Porcentaje de agua aprovechada, ajustado – Pa (aj).**

Una vez ajustado la lámina de riego, es conveniente calcular el porcentaje de agua aprovechada por el cultivo.

$$Pa(aj)[\%] = \frac{LR(aj) * 100}{LDzr}$$

Donde:

**Pa(aj)** : Porcentaje de agua aprovechada, ajustado, [%].

**LR(aj)** : Lámina de riego ajustada, [mm].

**LDzr** : Lámina de agua disponible, en la zona radicular efectiva, [mm zr<sup>-1</sup>].

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal.

#### **2.2.6.1.10. Lámina bruta – LB.**

Cada método de riego tiene su eficiencia típica. De acuerdo con la lámina de riego ajustada, LR (aj) [mm], y a la eficiencia del sistema de riego Ef [%], se determina la lámina de riego bruto, LB [mm].

$$LB[mm] = \frac{LR(aj) * 100}{Ef}$$

Donde:

**LB** : Lamina bruta, [mm].

**LR(aj)** : Lámina de riego ajustada, [mm].

**Ef** : Eficiencia del sistema de riego, [%].

#### **2.2.6.1.11. Dosis de riego bruto – DB.**

- **Dosis de riego bruto por área:** Volumen de agua por aplicar por unidad de superficie bruta de la parcela, [Ha]. La dosis bruta, DB [m<sup>3</sup> Ha<sup>-1</sup>], se calcula a base de la lámina bruta, LB [mm], y del porcentaje del área bajo riego, Par [%], se utiliza la siguiente fórmula:

$$DB[m^3 Ha^{-1}] = \frac{LB * Par}{10}$$

Donde:

**DB** : Dosis bruta, [m<sup>3</sup> Ha<sup>-1</sup>].

**LB** : Lamina bruta, [mm] = [lt m<sup>-2</sup>].

**Par** : Porcentaje del área bajo riego, [%].

- **Dosis de riego bruto por planta – DBp:** Es el volumen de agua por aplicar a cada árbol, en una plantación de frutales regada por microaspersión o goteo. La dosis bruta por planta, DBp [lt planta<sup>-1</sup>] se calcula a base de la lámina bruta, LB [mm], y el área bajo riego, por planta.

$$DBp[lt\ planta^{-1}] = \frac{LB * dp * dh * ParP}{100}$$

Donde:

**DBp** : Dosis bruta por planta, [lt planta<sup>-1</sup>].

**LB** : Lamina bruta, [mm].

**dp** : Distancia entre plantas contiguos sobre la hilera, [m].

**dh** : Distancia entre hileras contiguas, [m].

**ParP** : Porcentaje del área bajo riego, por planta, [%].

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal.

#### **2.2.6.1.12. Horas de riego por turno – Ht.**

Es el tiempo requerido, en horas, para aplicar, por medio del emisor seleccionado, la lámina bruta, LB [mm], y depende de la precipitación horaria, Phr [mm h<sup>-1</sup>].

$$Ht[h\ turno^{-1}] = \frac{LB}{Phr}$$

Donde:

**Ht** : Horas de riego por turno, [h turno<sup>-1</sup>].

**LB** : Lamina bruta, [mm].

**Phr** : Precipitación horaria del sistema de riego, [mm h<sup>-1</sup>].

#### **2.2.6.1.13. Máximo número de horas de riego diarias – Hm.**

Es el máximo número de horas durante las cuales es posible operar el sistema de riego diario y el cual depende de:

- Las horas de funcionamiento del equipo de bombeo.
- Las horas disponibles de la fuente de agua para el riego.
- Las condiciones de viento (que limita al riego por aspersión).
- La disponibilidad de mano de obra.

#### **2.2.6.1.14. Máximo número de turnos de riego diarios – Td.**

Es el número íntegro de turnos de riego que es posible realizar durante el día. Se obtiene al redondear para abajo el cociente de las horas

requeridas por el turno de riego,  $H_t$ , y el máximo número durante las cuales es posible operar el sistema de riego por día.

$$T_d[\text{turnos día}^{-1}] = \text{INTEGRO} \left( \frac{H_m}{H_t} \right)$$

Donde:

$T_d$  : Turnos por día, [turno día<sup>-1</sup>].

$H_m$  : Horas de riego, máxima diarias, [h días<sup>-1</sup>].

$H_t$  : Horas de riego por turno, [h turno<sup>-1</sup>].

**2.2.6.1.15. Horas de riego por día –  $H_d$ .**

$$H_d[h \text{ día}^{-1}] = T_d * H_t$$

Donde:

$H_d$  : Horas de riego por día. [h día<sup>-1</sup>].

$T_d$  : Máximo número de turnos de riego diario, [turno día<sup>-1</sup>].

$H_t$  : Horas de riego por turno, [h turno<sup>-1</sup>].

**2.2.6.1.16. Horas de riego por ciclo –  $H_c$ .**

Es el número de horas de operación del sistema de riego durante el ciclo de riego.

$$H_c[h \text{ ciclo}^{-1}] = CR * H_d$$

Donde:

$H_c$  : Horas de riego por ciclo, [h ciclo<sup>-1</sup>].

$CR$  : Ciclo de riego, [día ciclo<sup>-1</sup>].

$H_d$  : Horas de riego diarias, [h día<sup>-1</sup>].

**2.2.6.1.17. Número de turnos por ciclo –  $T_c$ .**

Es el número de veces que es necesario poner en operación al sistema de riego para cubrir el área de riego.

$$T_c[\text{turno ciclo}^{-1}] = CR * T_d$$

Donde:

$T_c$  : Número de turnos por ciclo, [turno ciclo<sup>-1</sup>].

$CR$  : Ciclo de riego, [día ciclo<sup>-1</sup>].

$T_d$  : Máximo número de turnos de riego diario, [turno día<sup>-1</sup>].

**2.2.6.1.18. Superficie bajo riego por turno –  $S_t$ .**

Se obtiene al dividir el área neta bajo riego en la parcela,  $S_r$ , entre el número de turnos,  $T_c$ .

$$St[\text{Ha turno}^{-1}] = \frac{Sr}{Tc}$$

Donde:

**St** : Superficie bajo riego por turno, [Ha turno<sup>-1</sup>].

**Sr** : Superficie total de riego por ciclo, [Ha ciclo<sup>-1</sup>].

**Tc** : Número de turnos por ciclo, [turno ciclo<sup>-1</sup>].

#### **2.2.6.1.19. Dosis de riego bruta por turno – DBt.**

Es el volumen de agua de riego por aplicar en un turno.

$$DBt[\text{m}^3 \text{ turno}^{-1}] = St * DB$$

Donde:

**DBt** : Dosis bruta por turno, [m<sup>3</sup> turno<sup>-1</sup>].

**St** : Superficie por turno de riego, [Ha turno<sup>-1</sup>].

**DB** : Dosis bruta, [m<sup>3</sup> Ha<sup>-1</sup>].

#### **2.2.6.1.20. Caudal requerido – Qr.**

Qr [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>] es el caudal requerido para el riego de la parcela.

$$Qr[\text{m}^3 \text{ h}^{-1}] = \frac{DBt}{Ht}$$

Donde:

**Qr** : Caudal requerido, [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>].

**DBt** : Dosis bruta por turno, [m<sup>3</sup> turno<sup>-1</sup>].

**Ht** : Horas de riego por turno, [h turno<sup>-1</sup>].

#### **2.2.6.1.21. Descarga disponible en el sistema de riego – Qs.**

Dado el caso que se pretenda modificar un sistema de bombeo em pie, para adaptarlo al método de riego deseado, se hace necesario comparar Qs [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>], la descarga disponible en la bomba, con el caudal requerido para el riego de la parcela, Qr, [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>], por el nuevo método de riego.

$$Qr[\text{m}^3 \text{ h}^{-1}] \leq Qs[\text{m}^3 \text{ h}^{-1}]$$

Donde:

**Qr** : Caudal requerido, [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>].

**Qs** : Descarga disponible en el sistema de riego, [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>].

#### **2.2.6.1.22. Número de emisores por turno – Emt.**

El número de emisores por turno se calcula a base de la descarga del sistema de riego, Qr [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>] y de la descarga del emisor, qe [l<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>]. Este es un dato que se utiliza para el diseño de los laterales de riego.

$$E_{mt}[e \text{ turno}^{-1}] = \frac{Q_r * 1000}{q_e}$$

Donde:

**$E_{mt}$**  : Emisores por turno de riego, [e turno<sup>-1</sup>].

**$Q_r$**  : Caudal requerido, [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>].

**$q_e$**  : Caudal del emisor, [lt<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>].

El factor 1000 corrige las unidades de volumen.

#### **2.2.6.1.23. Volumen por ciclo en plantaciones de frutales – VBc.**

Se calcula a base de la dosis bruta por planta y el numero de plantas en la superficie regada.

$$VBc[m^3 \text{ ciclo}^{-1}] = \left( \frac{DBt * Np[\text{plantas } Sr^{-1}]}{1000} \right)$$

Donde:

**$VBc$**  : Volumen bruto por ciclo, [m<sup>3</sup> ciclo<sup>-1</sup>].

**$DBp$**  : Dosis bruta por planta, [lt planta<sup>-1</sup>].

**$Np$**  : Número total de plantas en la superficie regada, [plantas Sr<sup>-1</sup>].

**$Sr$**  : Superficie bajo riego, [Ha].

El factor 1000 convierte lt a m<sup>3</sup>.

#### **2.2.6.1.24. Caudal específico – Qe.**

El caudal específico,  $Q_e$  [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> Ha<sup>-1</sup>], se obtiene al dividir el caudal requerido,  $Q_r$  [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>] entre el área total bruta,  $A$  [Ha] de la parcela.

$$Q_e[m^3 \text{ h}^{-1}] = \frac{Q_r}{A}$$

Donde:

**$Q_e$**  : Caudal específico, [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>].

**$Q_r$**  : Caudal requerido, [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>].

**$A$**  : Área bruta total de la parcela, [Ha].

#### **2.2.6.2. Programación de riego**

Anjum et al. (2023), indican que la programación del riego es una herramienta útil para saber cuándo y qué cantidad de agua dar al cultivo. Los autores también señalan que las elecciones sobre el manejo del riego afectan la uniformidad de la dosis y las condiciones ideales de humedad del suelo para que el cultivo crezca.

### **2.2.6.3. Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)**

Es un indicador empleado para determinar cuán uniforme es la distribución del agua en los sistemas de riego, representándolo mediante un porcentaje, donde un CU de 100% refleja que todos los puntos evaluados recibieron el mismo volumen de agua. Sin embargo, este coeficiente depende de la metodología de muestreo utilizada, ya que tanto la cantidad como la distribución espacial de los colectores pueden alterar el resultado (Green y Pattison, 2022).

### **2.2.6.4. Uniformidad de distribución (UD)**

Es un indicador estadístico que determina el grado de equidad con el que se distribuye una variable, como el agua en los sistemas de riego, sobre una superficie o entre varios elementos. Su análisis resulta esencial para detectar irregularidades y mejorar la eficiencia en distintos procesos y aplicaciones (Rajaram et al., 2024).

### **2.2.6.5 Láminas de riego**

La lámina de riego es el volumen de agua que se entrega en cada dosis de riego. Un manejo apropiado de esa lámina a lo largo de las etapas del cultivo permite un uso más eficaz del agua y evita que las plantas sufran por falta o por exceso de humedad. Por ejemplo, si se reduce la lámina un 60% en la fase inicial, un 20% en la etapa de crecimiento veloz, y hasta un 90% después de la cosecha, se puede elevar la eficiencia y sostener la producción del cultivo (Polla, 2020).

### **2.2.7 Diseño físico**

El diseño físico incluye la selección y el cálculo del tamaño de cada uno de sus elementos: goteros, tuberías y conectores. Para lograr un reparto parejo y eficaz del agua en el cultivo, se deben considerar factores como la presión del flujo, la forma del terreno y el ahorro del recurso hídrico (Ghodgaonkar et al., 2025).

### **2.2.8 Diseño hidráulico**

#### **2.2.8.1. Pérdidas de carga (m.c.a.)**

Las pérdidas de carga, medidas en metros de columna de agua, corresponden a la pérdida de presión causada por la fricción entre el agua en movimiento y las superficies internas de la tubería. Esta pérdida de energía se incrementa a lo largo del recorrido del flujo, pueden ser considerable en tuberías largas, mientras que en trayectos cortos su impacto suele ser muy reducido o despreciable (Yambombo, 2012).

Diversos modelos matemáticos, tanto empíricos como semiempíricos, han sido desarrollados para calcular las pérdidas por fricción en tuberías de redes a

presión. Entre las ecuaciones empleadas se encuentran las de Darcy-Weisbach (DW), Hazen-Williams (HW) y Chezy-Manning (CM), las cuales pueden ser implementadas en herramientas de simulación como EPANET (Niño y Alzamora, 2018).

El análisis hidráulico de pérdidas de carga en conducciones a presión puede realizarse mediante tres enfoques matemáticos fundamentales:

#### **2.2.8.1.1. Fórmula de Hazen-Williams (HW).**

$$h_f = 10.674 * L * D^{-4.871} * \left( \frac{Q}{C_{HW}} \right)^{1.852}$$

#### **2.2.8.1.2. Fórmula de Darcy-Weisbach (DW).**

$$h_f = 0.0827 * f * L * D^{-5} * Q^2$$

#### **2.2.8.1.3. Fórmula de Chezy-Manning (CM).**

$$h_f = 10.294 * L * n^2 * D^{-5.33} * Q^2$$

Donde:

$h_f$  : Pérdidas de carga debido a la fricción, [m].

$L$  : Longitud de tubería, [m].

$D$  : Diámetro de tubería, [m].

$Q$  : Caudal, [m<sup>3</sup> seg<sup>-1</sup>].

$C_{HW}$  : Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams (adimensional).

$f$  : Factor de fricción de Darcy-Weisbach (adimensional).

$n$  : Coeficiente de rugosidad de Chezy-Manning (adimensional).

#### **2.2.8.2. Velocidad del agua (m s<sup>-1</sup>)**

En los sistemas de riego agrícola, la velocidad del agua puede controlarse con precisión para mejorar tanto la eficiencia como la uniformidad en su distribución. Este control permite modificar el caudal de acuerdo con los requerimientos del cultivo y condiciones operativas del sistema, constituyendo un aspecto clave para una gestión del riego sostenible y eficaz (Nie et al., 2023).

### **2.2.9 Optimización energética y operativa**

#### **2.2.9.1. Selección de bombas**

La selección de las bombas para un sistema de riego se basa en varios factores: cuánta agua necesita el cultivo, el flujo requerido, la altura manométrica total y las condiciones de operación. El objetivo es alcanzar un alto ahorro energético y una buena capacidad de respuesta ante los cambios en la demanda,

para así emplear de forma óptima el agua y la energía en las labores agrícolas (Kamber et al., 2024).

#### **2.2.9.2. Criterios de eficiencia**

La eficiencia de las bombas para riego se calcula a partir de tres puntos: su gasto de energía por cada unidad de agua, su rendimiento total y sus distintas formas de operar. Para sacar un mejor provecho de la energía en los sistemas de bombeo agrícola, se requieren revisiones técnicas y de consumo energético que permitan descubrir y solucionar posibles fallas en el trabajo de las bombas (Odilov, 2025).

#### **2.2.9.3. Requerimientos energéticos (kWh ha<sup>-1</sup>)**

De acuerdo con Sowby y Dicataldo (2022), en los sistemas de riego para cultivos, el gasto de energía por bombeo se calcula en cerca de 730 kWh por cada hectárea-pie de agua empleada. Esta cifra equivale a una densidad energética próxima a 0.59 kWh por cada metro cúbico de agua bombeada, de acuerdo con cálculos realizados a escala nacional en Estados Unidos.

### **2.2.10 Herramientas digitales**

#### **2.2.10.1. NASA POWER**

El sistema NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resource) es una plataforma desarrollada por el NASA Langley Research Center que ofrece datos meteorológicos y climáticos a escala global, obtenidos a partir de satélites y modelos de reanálisis atmosférico. En un principio fue diseñado para apoyar investigaciones en energías renovables sin embargo su aplicación se ha extendido a diversas áreas como la agricultura, la hidrología, la ingeniería ambiental y la gestión de recursos hídricos, debido a su accesibilidad y cobertura mundial (NASA Langley Research Center, s/f).

Jiménez-Jiménez et al. (2021), demostró que los datos de reanálisis representan una alternativa valiosa para estimar el Eto en regiones con escasa información meteorológica o con registros incompletos, ya que proporcionan acceso a variables clave como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. Sin embargo, también menciona que es fundamental validar estos datos comparándolos con mediciones locales para evaluar su precisión y, en caso necesario, aplicar métodos de corrección de sesgos.

### **2.2.10.2. ETo Calculator (FAO)**

La calculadora Eto es una herramienta creada por la División de Tierras y Aguas de la FAO, cuyo propósito fundamental es estimar el valor del Eto al utilizar datos meteorológicos y aplicarlos en la ecuación de Penman-Monteith (FAO, s/f).

### **2.2.10.3. CropWat 8.0**

Herramienta diseñada para estimar los requerimientos hídricos de los cultivos, utiliza datos de suelo, clima y características del cultivo. Además, facilita la elaboración de cronogramas de riego según diferentes estrategias de manejo, así como el cálculo de la demanda de agua en sistemas con diversas combinaciones de cultivos. (FAO, s/f).

### **2.2.10.4. AquaCrop**

Se trata de un programa de la FAO que reproduce el crecimiento de cultivos. Su propósito es examinar la disponibilidad de alimentos y ver cómo el clima y las labores de cultivo afectan la producción agraria. Este programa calcula la cosecha de plantas herbáceas según la cantidad de agua disponible. Es útil en zonas donde el recurso hídrico es el principal freno para la producción (FAO, s/f).

### **2.2.10.5. SPAW Hydrology 6.0**

El modelo SPAW (Soil-Plant-Air-Water) es un sistema de simulación que representa la hidrología en terrenos agrícolas y cuerpos de agua, facilitan el análisis del balance hídrico, procesos de infiltración y formación de escorrentía al considerar características del suelo, clima y prácticas agrícolas (Saha y McMaine, 2023).

### **2.2.10.6. WinSIPP™3**

WinSIPP™3 de Senninger facilita la selección de productos de riego mediante la comparación de distintos diseños de aspersores antes de su instalación. Este programa calcula la tasa de precipitación y la uniformidad al considerar diferentes modelos de aspersores, presiones de operación, diámetros de boquilla, alturas de montaje y espaciamientos, con el fin de identificar la opción más adecuada para cada sistema de riego en particular (Senninger Irrigation, s/f).

### **2.2.10.7. Pump Size**

Es un recurso que ayuda a dimensionar bombas y sistemas de bombeo, el cual permite elegir la opción más adecuada en función de parámetros como caudal, presión y condiciones de operación, lo que incrementa la eficiencia y agiliza el proceso de diseño (Yao et al., 2025).

### **2.2.10.8. IrriCAD**

IRRICAD es un software que permite diseñar sistemas de riego presurizado desde la etapa inicial hasta su ejecución final, es una herramienta esencial para ingenieros y diseñadores. Su capacidad para analizar sistemas hidráulicos complejos facilita la realización de modificaciones de diseño con agilidad. Además, cuenta con bases de datos personalizables que integran productos de los principales proveedores de equipos de riego (IrriCAD, s/f).

### **2.2.10.9. AutoCAD**

AutoCAD es un programa de diseño utilizado de manera extensiva en los campos de la ingeniería y la arquitectura para elaborar planos y modelos tanto en dos como en tres dimensiones. Su uso destaca por la eficiencia que ofrece, la precisión que proporciona en los diseños y la disminución de costos frente a los métodos de dibujo manual convencionales (Poudel, 2020).

## **2.3 Marco legal**

### ***2.3.1 Constitución de la Republica del Ecuador (2008)***

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua. (p. 192)

**Art. 412.-** La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico. (Constitución de la República del Ecuador, 2008, Art. 411, 412, p. 193)

### ***2.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014)***

**Art. 1.-** Naturaleza jurídica. Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del Estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley. El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria. (p. 3)

**Art. 2.-** Ámbito de aplicación. La presente Ley Orgánica regirá en todo el territorio nacional, quedando sujetos a sus normas las personas, nacionales o extranjeras que se encuentren en el. (p. 3)

**Art. 3.-** Objeto de la Ley. El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución. (p. 3)

**Art. 4.-** Principios de la Ley. Esta Ley se fundamenta en los siguientes principios:

- a) La integración de todas las aguas, sean estas, superficiales, subterráneas o atmosféricas, en el ciclo hidrológico con los ecosistemas;
- b) El agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad;
- c) El agua, como bien de dominio público, es inalienable, imprescriptible e inembargable;
- d) El agua es patrimonio nacional y estratégico al servicio de las necesidades de las y los ciudadanos y elemento esencial para la soberanía alimentaria; en consecuencia, está prohibido cualquier tipo de propiedad privada sobre el agua;
- e) El acceso al agua es un derecho humano;
- f) El Estado garantiza el acceso equitativo al agua;
- g) El Estado garantiza la gestión integral, integrada y participativa del agua; y,
- h) La gestión del agua es pública o comunitaria. (p. 3)

**Art. 11.-** Infraestructura hidráulica. Se consideran obras o infraestructura hidráulica las destinadas a la captación, extracción, almacenamiento, regulación, conducción, control y aprovechamiento de las aguas así como al saneamiento, depuración, tratamiento y reutilización de las aguas aprovechadas y las que tengan como objeto la recarga artificial de acuíferos, la actuación sobre cauces, corrección del régimen de corrientes, protección frente a avenidas o crecientes, tales como presas, embalses, canales, conducciones, depósitos de abastecimiento a poblaciones, alcantarillado, colectores de aguas pluviales y residuales, instalaciones de saneamiento, depuración y tratamiento, estaciones de aforo, piezómetros, redes de control de calidad así como todas las obras y equipamientos necesarios para la protección del dominio hídrico público. Las obras o infraestructura hidráulica podrán ser de titularidad pública, privada o comunitaria, según quien las haya construido y financiado, aunque su uso es de interés público y se rigen por esta Ley. En caso de estado de excepción o declaratoria de emergencia, en el cual el Estado requiera del agua para garantizar su provisión, a la población afectada, la administración, mantenimiento y uso de toda infraestructura hidráulica podrá ser realizada por el Estado, con independencia de su titularidad. (p. 5)

**Art. 18.-** Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua. Las competencias son:

- a) Dirigir el Sistema Nacional Estratégico del Agua;
- b) Ejercer la rectoría y ejecutar las políticas públicas relativas a la gestión integral e integrada de los recursos hídricos; y, dar seguimiento a su cumplimiento;
- c) Coordinar con la autoridad ambiental nacional y la autoridad sanitaria nacional la formulación de las políticas sobre calidad del agua y control de la contaminación de las aguas;
- d) Elaborar el Plan Nacional de Recursos Hídricos y los planes de gestión integral e integrada de recursos hídricos por cuenca hidrográfica; y, aprobar la planificación hídrica nacional;
- e) Establecer y delimitar las zonas y áreas de protección hídrica;
- f) Definir la delimitación administrativa de las unidades hidrográficas;
- g) Otorgar las autorizaciones para todos los usos, aprovechamientos del agua;
- h) Otorgar las autorizaciones para el cambio de uso o aprovechamiento del agua y las renovaciones de autorización cuando hubiere lugar;
- i) Otorgar personería jurídica a las juntas administradoras de agua potable y a las Juntas de Riego y drenaje;
- j) Mantener y actualizar el registro público del agua;
- k) Declarar de interés público la información sobre la disponibilidad de aguas superficiales, subterráneas y atmosféricas;
- l) Establecer mecanismos de coordinación y complementariedad con los Gobiernos Autónomos Descentralizados en lo referente a la prestación de servicios públicos de riego y drenaje, agua potable, alcantarillado, saneamiento, depuración de aguas residuales y otros que establezca la ley;
- m) Emitir informe técnico de viabilidad para la ejecución de los proyectos de agua potable, saneamiento, riego y drenaje;
- n) Conocer y resolver sobre las apelaciones y otros recursos que se interpongan respecto de las resoluciones emitidas por la Agencia de Regulación y Control;
- o) Asegurar la protección, conservación, manejo integrado y aprovechamiento sustentable de las reservas de aguas superficiales y subterráneas;
- p) Establecer los parámetros generales, en base a estudios técnicos y actuariales, para la fijación de las tarifas por la prestación del servicio público de agua potable y saneamiento, riego y drenaje, y fijar los montos de las tarifas de las autorizaciones de uso y aprovechamiento productivo del agua, en los casos determinados en esta Ley;
- q) Ejercer la jurisdicción coactiva en todos los casos de su competencia;
- r) Formular, gestionar y supervisar el plan anual de prioridades en infraestructura hidráulica, equipamiento, drenaje e inundaciones; y, administrar la infraestructura hidráulica de propósito múltiple;
- s) Implementar un registro para identificar y cuantificar los caudales y las autorizaciones de uso o aprovechamiento productivo cuando se trata de caudales que fluyen por un mismo canal o sistema de riego;
- t) Concienciar a usuarios y consumidores sobre el uso responsable del agua para el consumo humano;
- u) Autorizar excepcional y motivadamente el trasvase de agua desde otras demarcaciones hídricas;

v) Aprobar la delimitación concreta de las cuencas hidrográficas y su posible agrupación a efectos de planificación y gestión, así como la atribución de las aguas subterráneas a la cuenca que corresponda; y,

w) Dictar las medidas necesarias para el ejercicio de sus funciones y competencias. (p. 7)

**Art. 21.-** Agencia de Regulación y Control del Agua. La Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), es un organismo de derecho público, de carácter técnico-administrativo, adscrito a la Autoridad Unica del Agua, con personalidad jurídica, autonomía administrativa y financiera, con patrimonio propio y jurisdicción nacional. La Agencia de Regulación y Control del Agua, ejercerá la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de recarga, calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua. La gestión de regulación y control de la Agencia serán evaluados periódicamente por la Autoridad Única del Agua. (p. 9)

**Art. 35.-** Principios de la gestión de los recursos hídricos. La gestión de los recursos hídricos en todo el territorio nacional se realizará de conformidad con los siguientes principios:

a) La cuenca hidrográfica constituirá la unidad de planificación y gestión integrada de los recursos hídricos;

b) La planificación para la gestión de los recursos hídricos deberá ser considerada en los planes de ordenamiento territorial de los territorios comprendidos dentro de la cuenca hidrográfica, la gestión ambiental y los conocimientos colectivos y saberes ancestrales;

c) La gestión del agua y la prestación del servicio público de saneamiento, agua potable, riego y drenaje son exclusivamente públicas o comunitarias;

d) La prestación de los servicios de agua potable, riego y drenaje deberá regirse por los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad; y,

e) La participación social se realizará en los espacios establecidos en la presente Ley y los demás cuerpos legales expedidos para el efecto. (p. 13)

**Art. 36.-** Deberes estatales en la gestión integrada. El Estado y sus instituciones en el ámbito de sus competencias son los responsables de la gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca hidrográfica. En consecuencia, son los obligados a:

a) Promover y garantizar el derecho humano al agua;

b) Regular los usos, el aprovechamiento del agua y las acciones para preservarla en cantidad y calidad mediante un manejo sustentable a partir de normas técnicas y parámetros de calidad;

c) Conservar y manejar sustentablemente los ecosistemas marino-costeros, alto andinos y amazónicos, en especial páramos, humedales y todos los ecosistemas que almacenan agua;

d) Promover y fortalecer la participación en la gestión del agua de las organizaciones de usuarios, consumidores de los sistemas públicos y comunitarios del agua, a través de los consejos de cuenca hidrográfica y del Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua; y,

e) Recuperar y promover los saberes ancestrales, la investigación y el conocimiento científico del ciclo hidrológico. (p. 13)

**Art. 39.-** Servicio público de riego y drenaje. Las disposiciones de la presente Ley relativas a los servicios públicos se aplicarán a los servicios de riego y drenaje, cualquiera sea la modalidad bajo la cual se los preste. El riego parcelario es responsabilidad de los productores dentro de su predio, bajo los principios y objetivos establecidos por la autoridad rectora del sector agropecuario. El servicio público de riego y drenaje responderá a la planificación nacional que establezca la autoridad rectora del mismo y su planificación y ejecución en el territorio corresponde a los gobiernos autónomos descentralizados provinciales, de conformidad con sus respectivas competencias. La Autoridad Única del Agua y la Autoridad Ambiental Nacional en coordinación con la autoridad rectora de la política nacional agropecuaria, expedirán las normas y reglamentos para asegurar la calidad e inocuidad del agua de riego y vigilará su abastecimiento. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014, p. 14)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Enfoque de la investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación

Este estudio adoptó un enfoque descriptivo y exploratorio, ya que se buscó caracterizar de manera sistemática las diferentes etapas del diseño de sistemas de riego presurizado. El proceso incluyó: el análisis del plano topográfico, el diseño agronómico, el diseño físico-estructural y el diseño hidráulico. Además, se realizó una evaluación comparativa de cuatro sistemas desde un enfoque técnico y financiero, con el fin de determinar su eficiencia y viabilidad en condiciones reales.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

###### 3.1.2.1. Investigación descriptiva

Esta fase permitió detallar, a nivel de diseño, las características técnicas y operativas de los cuatro sistemas de riego considerados. Se analizó parámetros como eficiencia hídrica, uniformidad de distribución, requerimientos de presión y costos de implementación.

###### 3.1.2.2. Investigación explorativa

Dado que este trabajo abordó una problemática con múltiples variables técnicas y económicas, el componente exploratorio permitió obtener una visión preliminar sobre el comportamiento de los sistemas de riego presurizados en estudio. Este enfoque facilitó la identificación de factores críticos para la selección del método más adecuado y así proporcionar una base sólida para futuras investigaciones más detalladas.

#### 3.2 Metodología

##### 3.2.1 Variables

###### 3.2.1.1. Variable independiente

La variable independiente en este estudio correspondió al factor de análisis técnico, que consistió en:

###### 3.2.1.1.1. Tipo de sistema de riego presurizado.

Se evaluó el diseño de cuatro tipos de sistemas de riego presurizado para el cultivo intensivo de pitahaya:

- Goteo
- Goteo subterráneo
- Aspersión
- Microaspersión

Cada sistema fue dimensionado en función de los requerimientos hídricos del cultivo, características hidráulicas del diseño, condiciones edafoclimáticas del área de estudio y disponibilidad de infraestructura de riego.

### **3.2.1.2. Variables dependientes**

Estas variables fueron medidas y evaluadas con base en los diseños hidráulicos para cada alternativa de riego presurizado, y se describen a continuación:

#### **3.2.1.2.1. Diámetro de tuberías utilizadas, [mm].**

Para cada sistema de riego se obtuvo el diámetro nominal en milímetros de los tubos principales, secundarios y terciarios. Este valor se calculó a partir de los caudales de diseño y de las velocidades hidráulicas admisibles.

#### **3.2.1.2.2. Velocidad del agua en las tuberías, [ $m s^{-1}$ ].**

Para cada tramo de tubería se obtuvo la velocidad media del flujo (expresada en metros por segundo) a partir del caudal y del área de la sección transversal. Posterior, se comprobó que dicho valor se ubicara dentro de los intervalos recomendados, con el fin de reducir las pérdidas por fricción y evitar la acumulación de sedimentos o el desgaste interno de la tubería.

#### **3.2.1.2.3. Pérdidas de carga totales en el sistema, [m.c.a.].**

Se calculó pérdidas de carga totales (por fricción y accesorios) en cada sistema de riego, expresadas en metros columna de agua (m.c.a.), se utilizó las fórmulas de Hazen-Williams según el tramo y el material de tubería empleado.

#### **3.2.1.2.4. Uniformidad de distribución del agua, [%].**

Se estimó el coeficiente de uniformidad de distribución para cada sistema diseñado, al considerar las variaciones de presión y caudal en los emisores, como indicador de la eficiencia de aplicación en campo.

#### **3.2.1.2.5. Requerimiento energético del sistema, [ $kWh ha^{-1}$ ].**

Se calculó el requerimiento energético en kilovatios-hora por hectárea requerido para operar cada sistema de riego presurizado diseñado, al considerar la potencia de bombeo y el tiempo operativo.

#### **3.2.1.2.6. Costo de inversión y operación, [USD $ha^{-1}$ ].**

Se estimó el costo total de implementación y operación para cada sistema de riego diseñado, expresado en dólares estadounidenses por hectárea.

### **3.2.2 Tratamientos**

En la investigación no se estableció tratamientos agronómicos o de manejo como en ensayos de campo tradicionales, ya que el enfoque se basó en la comparación de cuatro sistemas de riego diseñados para el cultivo intensivo de pitahaya. Cada sistema constituyó una alternativa tecnológica diferente, analizada bajo criterios de diseño agronómico, físico, hidráulico y económico, con el propósito de determinar su eficiencia y viabilidad para su implementación en los suelos áridos de la parroquia Progreso.

### **3.2.3 Diseño experimental**

El presente estudio no necesitó un diseño experimental, pues no hubo una prueba directa de tratamientos en condiciones controladas ni en parcelas de campo. En su lugar, se empleó variables independientes y dependientes. Para dichas variables se comparó, por medio de contrastes teóricos y técnicos, a partir de cálculos y revisiones, con el objetivo de elegir el sistema más eficiente y factible según las necesidades del cultivo de pitahaya y los rasgos del suelo y clima del área de estudio.

### **3.2.4 Recolección de datos**

#### **3.2.4.1. Recursos técnicos**

Los recursos técnicos empleados comprenden fuentes bibliográficas nacionales e internacionales, normas técnicas INEN, FAO y ASAE, así como software especializado como NASA POWER, Eto Calculator - FAO, CropWat 8.0, AquaCrop, SPAW, WinSIPP, EPANET 2.0, Pump Size, IrrCAD, AutoCAD, Microsoft Excel y Word, que permiten el cálculo, diseño, simulación, análisis y redacción del proyecto.

#### **3.2.4.2. Recursos humanos**

Para el estudio se conformó por dos figuras: el investigador principal, a cargo del desarrollo completo de la investigación, y el tutor académico, a cargo de la dirección, la revisión y las observaciones técnicas del trabajo.

#### **3.2.4.3. Recursos tecnológicos**

Se empleó el uso de una laptop con capacidad suficiente para programas de diseño y cálculo, un enlace a internet que permite la consulta de bases de datos, la obtención de normas y la revisión de catálogos técnicos, así como los programas de computación necesarios para cumplir los fines de la investigación.

### **3.2.5 Métodos y técnicas**

#### **3.2.5.1. Métodos de investigación**

##### **3.2.5.1.1. Método inductivo.**

Este método partió de los datos particulares del suelo y del clima, los cuales se obtuvieron en el estudio. Con esa base se calculó las necesidades de riego del cultivo y se definieron los parámetros de diseño para cada sistema.

##### **3.2.5.1.2. Método deductivo.**

Se empleó fórmulas y principios generales de la hidráulica y del diseño de riego que ya están establecidos. Con ellos se elaboró los diseños de cada sistema de riego propuesto.

##### **3.2.5.1.3. Método descriptivo.**

Su uso permitió la caracterización del cultivo, del suelo, del clima y de cada uno de los sistemas de riego diseñados.

##### **3.2.5.1.4. Método analítico – comparativo.**

Se analizó y comparó los cuatro sistemas de riego presurizados (según su eficiencia y sus costos). Dicha comparación sirvió para identificar la mejor alternativa para el cultivo intensivo de pitahaya en la zona de estudio.

#### **3.2.5.2. Técnicas de investigación**

##### **3.2.5.2.1. Recolección y análisis de datos climáticos.**

Los datos meteorológicos históricos y recientes se obtuvo por medio de la plataforma NASA POWER, para el periodo 2014 a 2024. Para ello se ingresaron las coordenadas del predio de estudio, lo cual permitió conocer variables climáticas como temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y precipitación. Luego, estos datos se procesaron con la calculadora ETo de la FAO, la cual usa el método de Penman-Monteith. Esta herramienta permite el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo), valor necesario para el dimensionamiento de los sistemas de riego.

##### **3.2.5.2.2. Descripción agronómica del cultivo.**

Se reunió y se redactó la información agronómica del cultivo de pitahaya. Se tomó en cuenta el marco de siembra intensivo, el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), el porcentaje de agua aprovechable y la profundidad efectiva de la zona de raíces. Con esta información se determinó las necesidades hídricas del cultivo y los parámetros de diseño.

### **3.2.5.2.3. Análisis físico de suelo.**

Se realizó un análisis físico del suelo con el objetivo de conocer la clase textural predominante del predio. Además, se calculó la humedad a capacidad de campo, el punto de marchitez permanente, el peso específico aparente y la infiltración básica. Para estos cálculos se empleó el modelo de Saxton y Rawls (2006). La información obtenida sirvió para definir los parámetros hidráulicos necesarios en el diseño del riego y en una programación hídrica adecuada.

### **3.2.5.2.4. Levantamiento topográfico y caracterización del predio.**

Se utilizó el plano topográfico del área de estudio (72.59 ha) proporcionado por el propietario en AutoCAD, el cual incluyó información de áreas, dimensiones, pendientes, linderos y ubicación de obstáculos. Este plano permitió planificar la distribución de los sistemas en función de las condiciones físicas del terreno.

### **3.2.5.2.5. Análisis de la fuente de agua de riego.**

Mediante la información de las características hidráulicas de la fuente de agua, proveniente de un pozo tubular, proporcionada por el dueño del predio, se identificó: nivel estático, nivel dinámico y caudal de operación.

### **3.2.5.2.6. Diseño agronómico de los sistemas de riego.**

Se aplicó fórmulas de diseño agronómico para determinar el caudal del emisor, el área neta bajo riego, distancia entre emisores y laterales, ciclo de riego, lámina bruta, horas de riego por turno y día, turnos por ciclo, superficie bajo riego por turno, dosis bruta por turno, caudal requerido y específico para cada sistema de riego mediante el uso del software de diseño AQUA. Este diseño consideró las condiciones climáticas y agronómicas y del cultivo de pitahaya.

### **3.2.5.2.7. Diseño físico e hidráulico de los sistemas de riego.**

Se desarrolló el cálculo hidráulico de cada sistema de riego. Dicho cálculo abarcó los siguientes puntos:

- **Diseño de tuberías terciarias:** Disposición de las tuberías desde las válvulas de salida (aguas abajo). Esto incluyó válvulas de control, tuberías terciarias, laterales y goteros, según el tipo de sistema.
- **Diseño de tuberías principales y secundarias:** Recorrido desde la caseta de bombeo hasta las válvulas de entrada (aguas arriba). Para ello se tuvo en cuenta los turnos de riego y módulos

Este proceso se aplicó por separado a cada alternativa de riego presurizado para la entrega de los planos correspondientes.

#### **3.2.5.2.8. Selección de bombas.**

Se seleccionó la bomba para cada sistema de riego. En la elección se tuvo en cuenta el caudal necesario, la presión mínima de trabajo y el total de pérdidas por fricción calculadas. La elección se hizo con base en las gráficas de rendimiento de bombas disponibles en el mercado, con el fin de asegurar un buen desempeño hidráulico y un bajo consumo de energía.

#### **3.2.5.2.9. Análisis de costos de implementación.**

Se estimó los costos de instalación para cada alternativa de riego. Para ello se partió del inventario de componentes obtenido durante el diseño hidráulico. Este cálculo sirvió para una comparación económica entre los sistemas y para conocer la factibilidad y la ganancia potencial de cada uno.

### **3.2.6 Población y muestra**

#### **3.2.6.1. Población**

La población del estudio estuvo conformada por los terrenos agrícolas con potencial para el establecimiento del cultivo de pitahaya en la parroquia rural Juan Gómez Rendón – Progreso, cantón Guayaquil, provincia del Guayas. Esta población comprendió áreas que presentó condiciones edafoclimáticas adecuadas y disponibilidad de recurso hídrico para la futura implementación de sistemas de riego presurizado, orientados a optimizar la producción del cultivo.

#### **3.2.6.2. Muestra**

La muestra correspondió a un predio agrícola de 72.59 ha, ubicado en el Km 61 de la Vía a la Costa, parroquia rural Juan Gómez Rendón - Progreso, cantón Guayaquil, entre Cerecita y San Isidro con coordenadas UTM, Zona 17M: E 575 916.98 m, N 9 737 683.25 m. Se seleccionó mediante muestreo no probabilístico intencional, se consideró la disponibilidad del recurso hídrico, características edáficas, climáticas y topográficas. Esta área sirvió para dimensionar y analizar los cuatro sistemas de riego presurizados diseñados.

### **3.2.7 Análisis estadístico**

En este estudio no se empleó un análisis estadístico, debido al tipo de metodología utilizada. La investigación se basó en un enfoque técnico y aplicado, enfocado en el dimensionamiento agronómico, físico e hidráulico de cuatro sistemas de riego para el cultivo intensivo de pitahaya. Por esta razón, no se establecieron tratamientos experimentales ni variables de respuesta que necesiten pruebas estadísticas para su comparación o para la obtención de inferencias.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Descripción de las características agronómicas para la implementación del cultivo intensivo de pitahaya (*Hylocereus* spp.) con riego presurizado en suelos áridos de la parroquia Progreso, Guayas

#### 4.1.1 Clima

Los valores promedio mensuales de las principales variables climáticas se obtuvieron a partir de la plataforma NASA POWER (2014–2024) la cual proporciona registros históricos y actualizados correspondientes a la parroquia Progreso, provincia del Guayas. Las variables incluidas fueron temperatura media, máxima y mínima, humedad relativa media, velocidad del viento, radiación solar, precipitación y evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), esta última calculada mediante la herramienta Eto Calculator de la FAO, la cual aplicó la ecuación de Penman–Monteith.

**Tabla 1.**

#### **Datos climáticos de la zona de estudio**

Mes	Tmean [°C]	Tmax [°C]	Tmin [°C]	Rh mean [%]	u(x) [m.s <sup>-1</sup> ]	Rs [Mj.m <sup>2</sup> . día <sup>-1</sup> ]	Prec [mm.dí a <sup>-1</sup> ]	Eto [mm.dí a <sup>-1</sup> ]
Enero	25.67	28.87	23.74	77.83	3.45	18.10	2.30	4.34
Febrero	26.24	29.07	24.48	80.41	2.80	18.13	5.12	4.16
Marzo	26.27	28.88	24.57	80.88	2.41	19.34	5.04	4.25
Abril	25.94	29.00	24.06	79.67	2.76	19.73	3.34	4.36
Mayo	25.36	28.60	23.57	79.43	3.49	17.31	1.19	4.06
Junio	24.51	27.95	22.63	78.26	3.86	15.39	0.39	3.83
Julio	23.93	27.68	21.87	76.95	3.97	14.37	0.16	3.78
Agosto	23.34	27.29	21.12	76.49	4.02	14.85	0.05	3.87
Septiembre	23.37	27.37	21.13	76.01	4.07	16.72	0.07	4.18
Octubre	23.60	27.44	21.47	75.82	3.95	16.85	0.14	4.21
Noviembre	23.62	27.25	21.55	76.18	3.88	17.19	0.20	4.19
Diciembre	24.75	28.19	22.76	76.92	3.91	18.69	0.60	4.44

**Nota:** Tmean: Temperatura media; Tmax: Temperatura máxima; Tmin: Temperatura mínima; Rh: Humedad media; u(x): Velocidad del viento; Rs: Radiación solar; Prec: Precipitación; Eto: Evapotranspiración de referencia

**Fuente:** NASA POWER (2025). **Elaborado por:** El Autor, 2026

#### 4.1.2 Cultivo

Para la adecuada planificación y programación del riego en el cultivo de pitahaya, es fundamental contar con valores precisos del coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) que reflejen las necesidades hídricas en cada etapa de desarrollo.

Los valores presentados en la Tabla 2 fueron extraídos de estudios recientes y se ajustan a las recomendaciones de la FAO Manual 56.

**Tabla 2.**

***Coefficiente del cultivo (Kc)***

<b>Fase del cultivo</b>	<b>Kc</b>
Inicio	0.65
Medio	0.90
Final	0.75

**Fuente: Paredes et al. (2024). Elaborado por: El Autor, 2026**

Para el cálculo de la estimación del ETc se consideró el valor del ETo correspondiente al mes con mayor demanda evaporativa y el Kc medio, dado que representa la etapa de mayor requerimiento hídrico del cultivo.

**Tabla 3.**

***Evapotranspiración del cultivo***

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Eto	mm día <sup>-1</sup>	4.44
Kc	-	0.90
Etc	mm día <sup>-1</sup>	3.99

**Elaborado por: El Autor, 2026**

En la Tabla 4 se resume las características claves del cultivo de pitahaya.

**Tabla 4.**

***Características del cultivo***

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Especie	<i>Hylocereus undatus</i>	
Porcentaje máximo de agua aprovechable	%	25
Profundidad radicular efectiva	m	0.3
Sistema de plantación	Intensivo a doble hilera	
Espacio entre hileras	m	4
Espacio entre plantas	m	1

**Elaborado por: El Autor, 2026**

**4.1.3 Suelo**

A partir de la clase textural determinada mediante el análisis físico del suelo (Figura 8), los datos fueron introducidos en el modelo SPAW (Figura 9) para estimar

los parámetros hidráulicos del área experimental, fundamentales para la planificación del riego. Los datos se presentan a continuación.

**Tabla 5.**

***Análisis físico del suelo***

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Clase textural	-	Arcilloso
Arena	%	16.48
Arcilla	%	49.29
Limo	%	34.23
Capacidad de campo	%	42.80
Punto de marchitez permanente	%	29.00
Peso específico aparente	gr cm <sup>-3</sup>	1.15
Infiltración básica	mm h <sup>-1</sup>	6.01

**Fuente: SPAW (2025). Elaborado por: El Autor, 2026**

***4.1.4 Parcela***

Los datos del área del predio se describen a continuación.

**Tabla 6.**

***Área del predio***

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Área bruta	Ha	72.59
Área neta bajo riego	Ha	58.17

**Elaborado por: El Autor, 2026**

***4.1.5 Fuente de agua***

Las características hidráulicas del pozo se describen a continuación.

**Tabla 7.**

***Características hidráulicas del pozo***

<b>Datos hidráulicos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Nivel estático	m	25
Nivel dinámico	m	50
Caudal de trabajo	GPM	60 - 70
Tiempo máximo de riego	h	8

**Fuente: Burgos (2024). Elaborado por: El Autor, 2026**

## 4.2 Realización del diseño agronómico, físico e hidráulico de los sistemas de riego presurizados por goteo superficial, goteo subterráneo, aspersion y microaspersión

### 4.2.1 Diseño agronómico

#### 4.2.1.1. Selección de emisores para el diseño agronómico

Para el diseño agronómico de los diferentes sistemas de riego presurizados fue necesario conocer las características técnicas de los emisores seleccionados, debido a que sus propiedades hidráulicas y operativas influyen de manera directa en la uniformidad de aplicación y en la eficiencia de cada sistema. La selección se basó en el requerimiento del cultivo, las condiciones del sitio y criterios de diseño.

##### 4.2.1.1.1. Gotero PCJ-LCNL.

En el riego por goteo superficial se seleccionó el gotero PCJ-LCNL, un modelo en línea auto compensado que mantiene un caudal estable dentro del rango operativo recomendado. Este gotero incorpora un sistema de limpieza continua y un mecanismo anti drenante, el cual será insertado en una manguera PE ciega 16012, el cual dispondrá dos goteros por planta. La manguera está fabricada con protección contra la oxidación y los rayos UV.

A continuación, se muestran los datos técnicos del gotero PCJ-LCNL.

**Tabla 8.**

#### **Datos técnicos del gotero PCJ-LCNL**

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal	L h <sup>-1</sup>	2.0
Rango de presión de trabajo	bar	0.7 - 4.0
Dimensiones del paso de agua	mm	0.98 × 0.79 × 35
Área de filtración	mm <sup>2</sup>	2.0
Constante	K	2.0
Exponente	X	0
Presión de cierre	bar	0.12
Color base	-	Rojo
Color de tapa	-	Negro

**Fuente: Netafim (2022). Elaborado por: El Autor, 2026**

A continuación, se muestran los datos técnicos de la manguera PE ciega, 16012.

**Tabla 9.****Manguera PE ciega 16012**

Parámetro	Unidad	Valor
Diámetro interior	mm	14.2
Espesor de la pared	mm	1.2
Diámetro exterior	mm	16.6
Presión máxima de trabajo	bar	4.0
Longitud	m	400

**Fuente: Netafim (2022). Elaborado por: El Autor, 2026**

**4.2.1.1.2. Línea de goteo UniRam ASXR.**

En el riego por goteo subterráneo se seleccionó la línea de goteo UniRam ASXR, un modelo auto compensado que mantiene una entrega uniforme de caudal dentro del rango de presión recomendado. Esta línea incorpora una barrera física para limitar la intrusión de raíces y un mecanismo antisifón que evita la entrada de sedimentos durante el drenaje del sistema.

A continuación, se presentan sus datos técnicos.

**Tabla 10.****Datos técnicos de la línea de goteo UniRam ASXR**

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal	L h <sup>-1</sup>	1.6
Rango de presión de trabajo	bar	0.5 – 4.0
Dimensiones del paso de agua	mm	1.09 x 0.76 x 40
Área de filtración	mm <sup>2</sup>	130
Constante	K	1.6
Exponente	X	0
Filtración	Micrones	200
	Mesh	80
Modelo de tubería	-	16012
Diámetro interno	mm	14.20
Espesor de pared	mm	1.20
Diámetro externo	mm	16.60
Presión máxima de trabajo	bar	4.0
Presión máxima de lavado	bar	5.2
Coeficiente	KD	1.30
Distancia entre goteros	m	0.50
Longitud del rollo	m	400

**Fuente: Netafim (2022). Elaborado por: El Autor, 2026**

#### 4.2.1.1.3. *Aspersor mini-Wobbler.*

Para el diseño agronómico del riego por aspersión se seleccionó el emisor mini-Wobbler, un dispositivo de acción rotatoria descentrada que permite obtener una cobertura uniforme bajo condiciones de baja presión. Este emisor trabaja dentro del rango operativo y presenta bajos niveles de evaporación, además de ofrecer un rango de caudales adecuado para aplicaciones en parcelas de pequeña y mediana escala. A continuación, se presentan sus datos técnicos.

**Tabla 11.**

#### ***Datos técnicos del aspersor mini-Wobbler***

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Boquilla Nº 4 - Azul claro	mm	1.59
Caudal	L h <sup>-1</sup>	95
Diámetro a 0,91 m de altura	m	9.5
Presión de operación	Bar	1.03
Conexión macho NPT	Pulg	0.5
Marco	-	Rectangular

**Fuente: Senninger (2025). Elaborado por: El Autor, 2026**

#### 4.2.1.1.4. *Microaspersor RFR.*

Para el diseño agronómico del riego por microaspersión se seleccionó el micro aspersor RFR, un emisor con compensación de presión que mantiene un caudal uniforme aun en terrenos con variaciones topográficas. A continuación, se presentan sus datos técnicos.

**Tabla 12.**

#### ***Datos técnicos del microaspersor RFR***

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Boquilla	-	Azul
Rotor	-	Marrón
Caudal	L h <sup>-1</sup>	30
Diámetro de pulverización	m	2.8
Presión de operación	Bar	2
Compensación de presión	-	Si
Filtración	Micrones	130
	Mesh	120

**Fuente: Rivulis (2025). Elaborado por: El Autor, 2026**

#### 4.2.1.2. Diseño agronómico de los sistemas de riego presurizados

El diseño agronómico del sistema de riego por goteo, riego por goteo subterráneo, riego por aspersión y riego por microaspersión se obtuvieron a través del software AQUA.

Los resultados se presentan a continuación.

**Tabla 13.**

#### ***Resultados de los diseños agronómicos***

Parámetro	Unidad	Goteo superficial	Goteo subterráneo	Aspersión	Microaspersión
Caudal del emisor	L h <sup>-1</sup>	2.0	1.6	95	30
Área neta bajo riego	ha	58.17	58.17	58.17	58.17
Distancia entre emisores	m	1	0.50	4	2.25
Distancia entre laterales	m	3	3	4	4
N° de laterales por fila de cultivo	-	2	2	1	1
Distancia entre laterales por fila de cultivo	m	1	1	-	-
Ciclo de riego (CR)	días	1	1	1	1
Porcentaje de área bajo riego (PAR)	%	53.24	42.26	100	68.38
Precipitación horaria de riego (PHR)	mm	6.01	6.01	5.94	4.87
Lámina bruta (LB)	mm	8.34	10.51	4.27	6.49
Horas de riego por turno (Ht)	h turno <sup>-1</sup>	1.39	1.75	0.72	1.33
Horas de riego por día (Hd)	h ciclo <sup>-1</sup>	6	7	7.92	7
Turnos por ciclo (Tc)	turnos	5	4	11	6
Superficie bajo riego por turno (St)	ha turno <sup>-1</sup>	11.63	14.54	5.29	9.70
Dosis bruta por turno (DBT)	m <sup>3</sup> turno <sup>-1</sup>	516.72	645.87	225.91	430.68
Caudal requerido (Qr)	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	371.74	369.07	313.76	323.82
Caudal específico (Qe)	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	5.12	5.08	4.32	4.46

**Fuente: AQUA (2025). Elaborado por: El Autor, 2026**

#### 4.2.2 Diseño físico

Para el diseño físico desarrollado correspondiente al sistema de riego por goteo superficial, goteo subterráneo, aspersión y microaspersión se estableció la distribución operativa del área mediante la sectorización en ciclos y módulos. La sectorización fue definida a partir de la superficie neta, números de turnos por ciclo, caudal disponible por emisor, y distanciamiento entre laterales y emisores. A continuación, se presenta la tabla con los principales parámetros obtenidos en el diseño físico para cada sistema.

**Tabla 14.**

#### **Resultados de los diseños físicos**

Parámetro	Unidad	Goteo superficial	Goteo subterráneo	Aspersión	Microaspersión
Superficie total del predio	ha	58.17	58.17	58.17	58.17
Turnos por ciclo (Tc)	turnos	5	4	11	6
Módulos por turno	Módulos	7	7	6	6
Total de módulos del sistema	Módulos	35	28	66	36
Superficie atendida por turno	ha turno <sup>-1</sup>	11.63	14.54	5.29	9.70
Superficie real del módulo (SRm)	ha módulo <sup>-1</sup>	1.66	2.08	0.88	1.62
Caudal de válvula	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	50	50	50	50

**Fuente: AQUA (2025). Elaborado por: El Autor, 2026**

#### 4.2.3 Diseño hidráulico

Para el análisis del comportamiento hidráulico de las alternativas de diseño propuestas, se utilizó el System Duty Report generado en IrrCAD, herramienta que permitió evaluar las condiciones de operación del sistema bajo distintos escenarios de turnado, se consideró la presión requerida en la fuente y el caudal demandado en cada condición operativa.

##### 4.2.3.1. Parámetros de diseños

Son la estandarización de los parámetros de diseño hidráulicos, económicos y de análisis utilizados en las iteraciones hidráulicas en los diferentes escenarios analizados por el software del diseño IrrCAD a medida que se realizan las alternativas de diseño (Figura 17 al 19).

#### 4.2.3.2. Ajuste de sectorización

El diseño físico permite establecer una sectorización del área de riego en función de la superficie del predio, el caudal de los emisores y el número de turnos por ciclo. Sin embargo, durante el desarrollo del diseño hidráulico es necesario realizar ajustes en el número de módulos debido a las variaciones topográficas y requerimientos de presión de operación de los emisores utilizados. Como resultado, el número final de módulos cambia respecto al diseño preliminar.

**Tabla 15.**

#### ***Ajuste del número de módulos en el diseño hidráulico***

<b>Sistema de riego</b>	<b>Módulos del diseño físico</b>	<b>Módulos del diseño hidráulico</b>
Goteo superficial	35	61
Goteo subterráneo	28	66
Aspersión	66	95
Microaspersión	36	46

**Fuente: IrriCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

#### 4.2.3.3. Goteo superficial – diseño hidráulico

A continuación, se presentan los datos obtenidos del desempeño hidráulico de los módulos de riego, el cual cumple con los rangos de operación del emisor seleccionado para el sistema de riego de goteo superficial, el gotero PCJ-LCNL con un caudal de dos litros por hora.

**Tabla 16.**

#### ***Diseño hidráulico de módulos – goteo superficial***

<b>Zona</b>	<b>Presión actual de la válvula (m)</b>	<b>Presión mínima del emisor (m)</b>	<b>Presión máxima del emisor (m)</b>
1-1 A	15.49	8.20	29.82
1-2 A	11.81	7.81	24.88
1-3 A	9.95	6.94	26.96
2-1 A	14.99	5.05	23.37
2-2 A	15.04	5.94	27.01
2-3 A	18.09	5.03	27.33
2-4 A	18.51	7.08	30.50
3-1 A	19.28	5.43	31.06
3-2 A	23.30	5.36	27.39
4 A	18.36	6.82	23.56

<b>Zona</b>	<b>Presión actual de la válvula (m)</b>	<b>Presión mínima del emisor (m)</b>	<b>Presión máxima del emisor (m)</b>
5 A	17.52	6.90	24.54
6 A	16.93	6.02	24.59
7 A	18.31	9.77	24.04
1 B	14.06	7.91	32.58
2-1 B	18.59	5.75	29.07
2-2 B	11.10	6.17	23.13
2-3 B	10.90	5.90	24.69
2-4 B	13.70	10.90	21.51
2-5 B	12.42	5.68	27.91
3 B	13.35	6.63	31.88
4 B	17.00	9.74	22.60
5 B	16.62	6.68	25.84
6 B	18.58	11.48	18.55
7 B	19.55	9.62	19.53
1-1 C	8.95	7.53	26.54
1-2 C	15.30	7.55	29.72
1-3 C	11.72	6.05	26.23
1-4 C	16.04	7.53	24.44
1-5 C	11.84	6.57	21.63
2-1 C	10.80	6.46	26.15
2-2 C	14.12	7.38	26.09
2-3 C	16.98	5.87	30.04
2-4 C	12.71	8.28	23.23
2-5 C	12.93	8.01	23.53
3-1 C	15.38	8.42	25.69
3-2 C	15.25	9.69	24.76
4 C	16.09	10.56	22.09
5 C	16.65	5.38	22.73
6 C	18.16	7.37	21.03
7 C	16.80	8.21	21.06
1 D	18.12	5.20	24.96
2-1 D	19.48	6.79	23.24
2-2 D	17.58	6.73	22.55
3-1 D	11.05	8.97	22.99
3-2 D	11.12	5.35	32.05
3-3 D	9.50	5.91	28.65
4 D	18.79	8.76	21.89
5 D	18.08	11.08	21.91

Zona	Presión actual de la válvula (m)	Presión mínima del emisor (m)	Presión máxima del emisor (m)
6 D	19.87	11.64	20.83
7 D	18.11	13.13	20.05
1-1 E	12.51	5.02	21.94
1-2 E	14.77	5.77	27.22
2-1 E	16.78	6.18	25.98
2-2 E	17.02	9.17	22.61
3-1 E	16.19	7.49	22.84
3-2 E	14.96	5.11	26.95
3-3 E	17.37	9.14	25.49
4 E	14.99	8.04	24.85
5 E	18.63	6.91	21.08
6 E	19.33	6.86	21.56
7 E	19.21	5.47	20.93

**Fuente: IrrCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

A continuación, se presentan los datos obtenidos de los turnos de trabajo, como el tiempo de riego, presión y caudal para el correcto funcionamiento del sistema de riego por goteo superficial.

**Tabla 17.**

***Diseño hidráulico de línea principal – goteo superficial***

Turno	Tiempo de encendido	Tiempo de apagado	Presión (m)	Caudal (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
1	1:06:00	1:07:23	110.00	237.19
2	1:07:24	1:08:47	110.00	235.32
3	1:08:48	1:10:11	110.00	237.43
4	1:10:12	1:11:35	110.00	234.30
5	1:11:36	1:12:59	110.00	236.45

**Fuente: IrrCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

En el sistema de riego por goteo superficial, luego de realizar la homologación de presión para el correcto funcionamiento del sistema, necesarios para compensar las irregularidades topográficas del terreno, alcanzó condiciones de operación estables dentro del rango de presión recomendado para los goteros. Como se observa en la Tabla 17, una vez efectuados estos ajustes, la presión se mantuvo en 110 m en todos los turnos de riego. El caudal presentó una variación de 1.33% con respecto al valor promedio del caudal de 236.14 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

#### 4.2.3.4. Goteo subterráneo – diseño hidráulico

A continuación, se presentan los datos obtenidos del desempeño hidráulico de los módulos de riego, el cual cumple con los rangos de operación del emisor seleccionado para el sistema de riego de goteo subterráneo, la cinta de goteo UniRam ASXR con un caudal de 1.6 litros por hora.

**Tabla 18.**

#### *Diseño hidráulico de módulos – goteo subterráneo*

Zona	Presión actual de la válvula (m)	Presión mínima del emisor (m)	Presión máxima del emisor (m)
1-1 A	18.56	6.37	29.77
1-2 A	18.04	6.79	26.38
1-3 A	12.85	7.87	27.01
2-1 A	15.35	6.40	27.20
2-2 A	16.87	5.51	23.08
2-3 A	16.51	7.11	21.14
2-4 A	16.28	7.16	20.51
2-5 A	16.18	5.88	22.14
2-6 A	15.03	7.42	22.80
2-7 A	15.72	8.61	25.41
2-8 A	12.19	5.04	25.72
3-1 A	12.71	5.76	29.60
3-2 A	6.75	5.06	30.09
4 A	12.73	7.25	23.28
5 A	17.60	5.00	24.41
6 A	14.81	6.64	25.89
7 A	15.22	10.05	21.34
1-1 B	8.65	7.11	29.69
1-2 B	11.81	5.11	26.44
1-3 B	10.93	9.95	25.17
1-4 B	9.69	6.72	26.11
2-1 B	11.87	8.54	28.42
2-2 B	9.96	6.68	24.89
2-3 B	14.29	7.50	23.57
2-4 B	11.59	7.19	27.25
2-5 B	10.76	7.60	23.89
2-6 B	11.01	6.09	28.92
2-7 B	12.00	6.77	25.54
2-8 B	13.34	7.38	23.96
2-9 B	12.20	7.60	22.05

<b>Zona</b>	<b>Presión actual de la válvula (m)</b>	<b>Presión mínima del emisor (m)</b>	<b>Presión máxima del emisor (m)</b>
2-10 B	12.63	8.57	22.56
3-1 B	15.09	9.44	27.72
3-2 B	11.88	7.02	25.73
4 B	15.40	6.10	23.78
5 B	10.66	6.51	22.03
6 B	17.62	8.16	20.48
7 B	20.81	7.00	20.73
1 C	6.09	5.15	28.75
2-1 C	13.60	6.60	22.06
2-2 C	11.18	6.19	26.40
2-3 C	14.32	6.77	23.18
2-4 C	15.62	6.74	27.40
3-1 C	14.66	5.42	23.32
3-2 C	14.73	7.04	23.51
3-3 C	17.79	7.36	21.67
3-4 C	13.98	5.21	30.63
3-5 C	7.51	5.36	27.39
3-6 C	10.96	8.02	30.30
4 C	21.64	6.15	23.34
5 C	14.07	11.87	22.63
6 C	15.73	11.78	23.36
7 C	16.40	9.30	23.49
1-1 D	11.59	5.12	24.71
1-2 D	14.71	5.54	20.64
1-3 D	17.19	6.81	22.33
1-4 D	11.16	5.02	24.17
1-5 D	12.84	9.32	19.51
1-6 D	15.80	6.78	24.79
2-1 D	14.79	7.86	21.33
2-2 D	10.60	5.65	26.28
3-1 D	12.62	5.23	22.47
3-2 D	10.92	6.21	29.93
4 D	9.30	5.37	22.71
5 D	18.42	6.77	20.90
6 D	20.61	5.62	21.61
7 D	16.17	6.94	19.24

**Fuente: IrrCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

A continuación, se presentan los datos obtenidos de los turnos de trabajo, como el tiempo de riego, presión y caudal para el correcto funcionamiento del sistema de riego por goteo subterráneo.

**Tabla 19.**

***Diseño hidráulico de línea principal – goteo subterráneo***

<b>Turno</b>	<b>Tiempo de encendido</b>	<b>Tiempo de apagado</b>	<b>Presión (m)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>)</b>
1	1:06:00	1:07:45	100.00	295.92
2	1:07:46	1:09:31	100.00	296.15
3	1:09:32	1:11:17	100.00	293.63
4	1:11:18	1:13:03	100.00	294.71

**Fuente: IrriCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

El sistema de goteo subterráneo mantuvo una presión de 100 m en los turnos evaluados luego de homologar las presiones del sistema en los sectores en donde se presentaban una caída y alza de presiones. El caudal presentó una variación mínima del 0.85% entre los turnos.

**4.2.3.5. Aspersión – diseño hidráulico**

A continuación, se presentan los datos obtenidos del desempeño hidráulico de los módulos de riego, el cual cumple con los rangos de operación del emisor seleccionado para el sistema de riego por aspersión, el aspersor mini-Wobbler con un caudal de 95 litros por hora.

**Tabla 20.**

***Diseño hidráulico de módulos – aspersión***

<b>Zona</b>	<b>Presión actual de la válvula (m)</b>	<b>Presión mínima del emisor (m)</b>	<b>Presión máxima del emisor (m)</b>
1 A!	25.29	12.78	39.74
2 A!	16.00	5.38	39.98
3 A!	27.74	6.21	30.74
4 A!	27.76	8.27	39.75
5 A	15.00	9.49	16.16
6 A	14.45	9.36	15.97
1 B!	23.50	8.03	39.60
2 B!	26.60	14.01	33.50
3 B!	27.05	12.17	36.18
4 B!	27.71	11.33	36.84

<b>Zona</b>	<b>Presión actual de la válvula (m)</b>	<b>Presión mínima del emisor (m)</b>	<b>Presión máxima del emisor (m)</b>
5 B	14.27	9.13	17.71
6-1 B	11.00	9.56	15.07
6-2 B	12.00	9.60	17.20
1 C!	28.42	13.05	39.50
2 C!	23.17	12.00	36.60
3 C!	26.19	11.95	34.76
4 C!	28.15	13.25	32.40
5-1 C	13.00	9.41	16.64
5-2 C	14.00	9.16	17.67
6-1 C	13.48	9.37	15.98
6-2 C	14.41	9.83	17.55
1 D!	29.49	9.83	39.41
2 D!	23.52	14.09	35.62
3-1 D	13.00	10.16	16.16
3-2 D	13.00	9.74	17.26
4-1 D	12.55	9.36	16.07
4-2 D	11.79	9.68	16.55
5-1 D	11.33	9.60	15.75
5-2 D	11.34	9.71	16.27
6-1 D!	26.63	17.09	31.87
6-2 D	10.50	9.26	17.56
6-3 D	12.00	9.73	17.16
1 E!	25.87	14.48	32.82
2 E!	25.31	8.34	38.11
3-1 E	12.41	9.44	16.57
3-2 E	13.00	9.43	16.70
4-1 E	12.01	9.00	17.12
4-2 E!	22.56	19.91	30.68
5-1 E	17.11	9.06	17.65
5-2 E	12.00	9.19	15.66
6-1 E	13.00	9.27	15.21
6-2 E	14.00	9.16	17.46
1 F!	17.50	5.48	38.94
2 F!	22.00	9.12	40.00
3-1 F	12.23	9.49	15.85
3-2 F	13.41	10.02	16.37
4 F	13.38	9.03	15.64
5-1 F	12.00	9.07	17.49

<b>Zona</b>	<b>Presión actual de la válvula (m)</b>	<b>Presión mínima del emisor (m)</b>	<b>Presión máxima del emisor (m)</b>
5-2 F	11.47	9.07	17.28
6 F	13.55	10.10	17.00
1-1 G	11.00	9.17	17.21
1-2 G	9.55	9.04	17.61
2 G!	29.74	11.23	33.66
3-1 G	12.32	9.89	15.77
3-2 G	12.59	9.12	16.79
4-1 G	13.74	9.26	17.62
4-2 G	13.97	9.09	17.24
4-3 G	13.49	9.00	16.14
4-4 G	14.40	9.46	14.73
5 G	12.06	9.78	12.88
6 G	15.50	9.23	17.83
1-1 H!	24.21	10.40	37.73
1-2 H!	23.57	13.72	36.88
2 H!	15.00	9.55	39.87
3-1 H	13.80	10.17	17.24
3-2 H	15.00	9.04	17.98
4-1 H	12.00	9.90	14.66
4-2 H	12.53	9.29	16.74
5 H	15.00	9.02	17.36
6 H	14.00	9.28	17.10
1 !!	24.33	14.85	32.76
2-1 I	14.00	9.01	17.08
2-2 !!	25.53	20.45	30.39
2-3 I	10.31	9.20	13.99
2-4 I	11.00	9.24	15.15
3 I	12.56	9.66	16.77
4-1 I	11.00	9.45	17.27
4-2 I	12.80	9.10	16.82
5 I	14.00	9.78	14.95
6 I	15.00	9.90	15.01
1 J!	28.14	15.20	36.49
2 J!	27.89	7.35	36.52
3 J	14.00	9.64	13.91
4 J	13.57	9.28	14.21
5 J	14.00	9.31	17.15
6 J	15.00	9.82	17.98

Zona	Presión actual de la válvula (m)	Presión mínima del emisor (m)	Presión máxima del emisor (m)
1-1 K!	25.16	16.65	32.14
1-2 K	11.00	9.33	17.49
2 K!	27.80	13.81	30.66
3 K	15.71	9.09	17.15
4 K	14.00	9.34	17.08
5-1 K	11.45	9.18	15.25
5-2 K	10.64	9.63	15.38
6-1 K	15.94	9.84	16.95
6-2 K	16.30	9.03	17.57

**Nota:** Las zonas con “!” corresponden a los módulos con microaspersión

**Fuente:** IrriCAD, 2026. **Elaborado por:** El Autor, 2026.

A continuación, se presentan los datos obtenidos de los turnos de trabajo, como el tiempo de riego, presión y caudal para el correcto funcionamiento del sistema de riego por aspersión.

**Tabla 21.**

***Diseño hidráulico de línea principal – riego por aspersión***

Turno	Tiempo de encendido	Tiempo de apagado	Presión (m)	Caudal (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
1	1:06:00	1:06:43	115.00	219.54
2	1:06:44	1:07:27	115.00	221.82
3	1:07:28	1:08:11	115.00	224.10
4	1:08:12	1:08:55	115.00	258.17
5	1:08:56	1:09:39	115.00	268.75
6	1:09:40	1:10:23	115.00	262.23
7	1:10:24	1:11:07	115.00	283.37
8	1:11:08	1:11:51	115.00	268.07
9	1:11:52	1:12:35	115.00	286.16
10	1:12:36	1:13:19	115.00	266.29
11	1:13:20	1:14:03	115.00	275.72

**Fuente:** IrriCAD (2026). **Elaborado por:** El Autor, 2026

A partir de la subdivisión por módulos, el sistema de riego por aspersión presentó una presión constante de 115 m. Sin embargo, el caudal mostró una variación considerable del 25.9% entre turnos. Esta fluctuación se atribuye a la

topografía del predio, que genera picos altos y bajos de presión en diferentes emisores, a cuál afectó la uniformidad de distribución. Lo anterior justifica la necesidad de sustituir ciertos módulos de aspersión por la microaspersión.

#### 4.2.3.6. Microaspersión – diseño hidráulico de módulos de riego

A continuación, se presentan los datos obtenidos del desempeño hidráulico de los módulos de riego, el cual cumple con los rangos de operación del emisor seleccionado para el sistema de riego por microaspersión, el microaspersor RFR con un caudal de 30 litros por hora.

**Tabla 22.**

#### *Diseño hidráulico del módulo de riego – microaspersión*

Zona	Presión actual de la válvula (m)	Presión mínima del emisor (m)	Presión máxima del emisor (m)
1-1 A	33.54	12.36	38.93
1-2 A	33.67	12.79	35.56
2-1 A	27.86	8.66	39.79
2-2 A	26.66	9.79	37.15
3-1 A	25.27	16.01	36.77
3-2 A	23.34	12.14	35.77
4 A	28.06	14.93	33.43
5 A	26.83	17.66	28.82
6 A	30.38	16.05	32.88
1 B	22.09	17.38	36.46
2-1 B	26.90	9.53	37.60
2-2 B	22.62	11.82	36.41
2-3 B	22.11	13.14	35.74
3 B	19.80	15.53	38.89
4 B	28.51	16.58	28.37
5 B	29.02	15.76	29.59
6 B	25.48	18.30	28.36
1 C	26.34	10.04	36.55
2-1 C	23.19	11.87	32.98
2-2 C	24.07	10.24	38.11
2-3 C	23.45	7.14	34.58
3-1 C	23.17	11.36	35.12
3-2 C	30.23	10.50	34.42
3-3 C	21.84	17.36	37.60
4 C	26.37	17.31	28.24
5 C	28.01	15.63	29.58

Zona	Presión actual de la válvula (m)	Presión mínima del emisor (m)	Presión máxima del emisor (m)
6 C	29.47	13.74	30.77
1 D	25.35	13.41	33.54
2 D	24.67	8.82	35.66
3-1 D	25.48	9.12	38.55
3-2 D	23.17	10.43	38.79
4 D	28.11	13.96	31.67
5 D	28.51	16.99	32.43
6 D	27.19	17.32	33.21
1 E	29.06	5.23	36.02
2 E	28.29	7.47	34.40
3 E	33.50	8.23	34.22
4 E	24.51	15.82	32.68
5 E	27.47	20.76	28.91
6 E	29.14	19.58	29.14
1 F	26.92	15.89	31.17
2 F	25.97	16.31	31.43
3 F	25.36	14.87	33.58
4 F	27.98	14.24	29.99
5 F	28.28	14.43	30.90
6 F	28.37	13.24	29.16

**Fuente: IrrCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

A continuación, se presentan los datos obtenidos de los turnos de trabajo, como el tiempo de riego, presión y caudal para el correcto funcionamiento del sistema de riego por microaspersión.

**Tabla 23.**

***Diseño hidráulico de línea principal – microaspersión***

Turno	Tiempo de encendido	Tiempo de apagado	Presión (m)	Caudal (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
1	1:06:00	1:07:20	110.00	321.30
2	1:07:21	1:08:41	110.00	321.30
3	1:08:42	1:10:02	110.00	330.48
4	1:10:03	1:11:23	110.00	320.73
5	1:11:24	1:12:44	110.00	322.35
6	1:12:45	1:14:05	110.00	331.56

**Fuente: IrrCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

En comparación con los demás sistemas evaluados, la microaspersión presenta una ventaja operativa, debido a que requiere un menor número de subdivisiones en módulos específicos. Esta condición simplifica la configuración del sistema y favorece su implementación. La microaspersión presenta un desempeño hidráulico de 110 m durante los turnos evaluados, mientras que el caudal registra un coeficiente de variación de 1.45%.

#### **4.2.3.7. Potencia de operación del sistema de bombeo**

Para el cálculo de la potencia del sistema de bombeo se empleó parámetros hidráulicos obtenidos en los diseños, al considerar el caudal de operación y la altura dinámica total correspondiente al turno más crítico de cada sistema de riego.

Los cálculos se realizan mediante herramientas de dimensionamiento hidráulico basadas en los principios fundamentales de la mecánica de fluidos, esto permite estimar la potencia hidráulica, potencia en el eje y potencia del motor para cada estación de bombeo de las diferentes metodologías de riego diseñadas.

##### **4.2.3.7.1. Goteo superficial.**

A continuación, se presentan los parámetros de operación de la bomba que se requiere para su correcto funcionamiento.

**Tabla 24.**

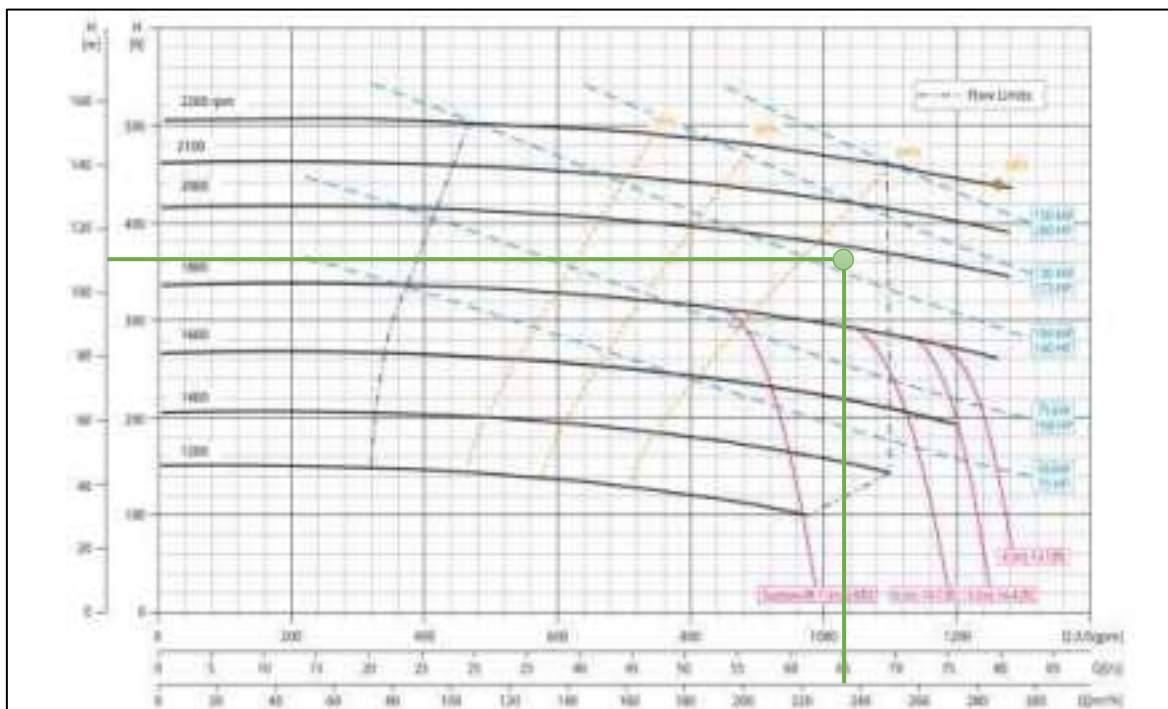
#### ***Parámetros de operación de la bomba – goteo superficial***

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal (Q)	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	237.43
Altura dinámica total (TDH)	m	110.00
Potencia hidráulica	HP	95.45
Potencia en el eje	HP	147.90
Potencia del motor	HP	149.13
Eficiencia	%	64.50
NPSH requerido	m	3.20

**Fuente: Atlas Copco (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

Se verifica que el punto de operación se encuentre dentro del rango de funcionamiento de la bomba seleccionada, esto garantiza condiciones adecuadas de operación.

Figura 1.

**Curva de operación de la bomba – goteo superficial**

Fuente: Atlas Copco (2026). Elaborado por: El Autor, 2026

**4.2.3.7.2. Goteo subterráneo.**

En la siguiente tabla se presentan los parámetros de operación de la bomba que se requiere para su correcto funcionamiento.

Tabla 25.

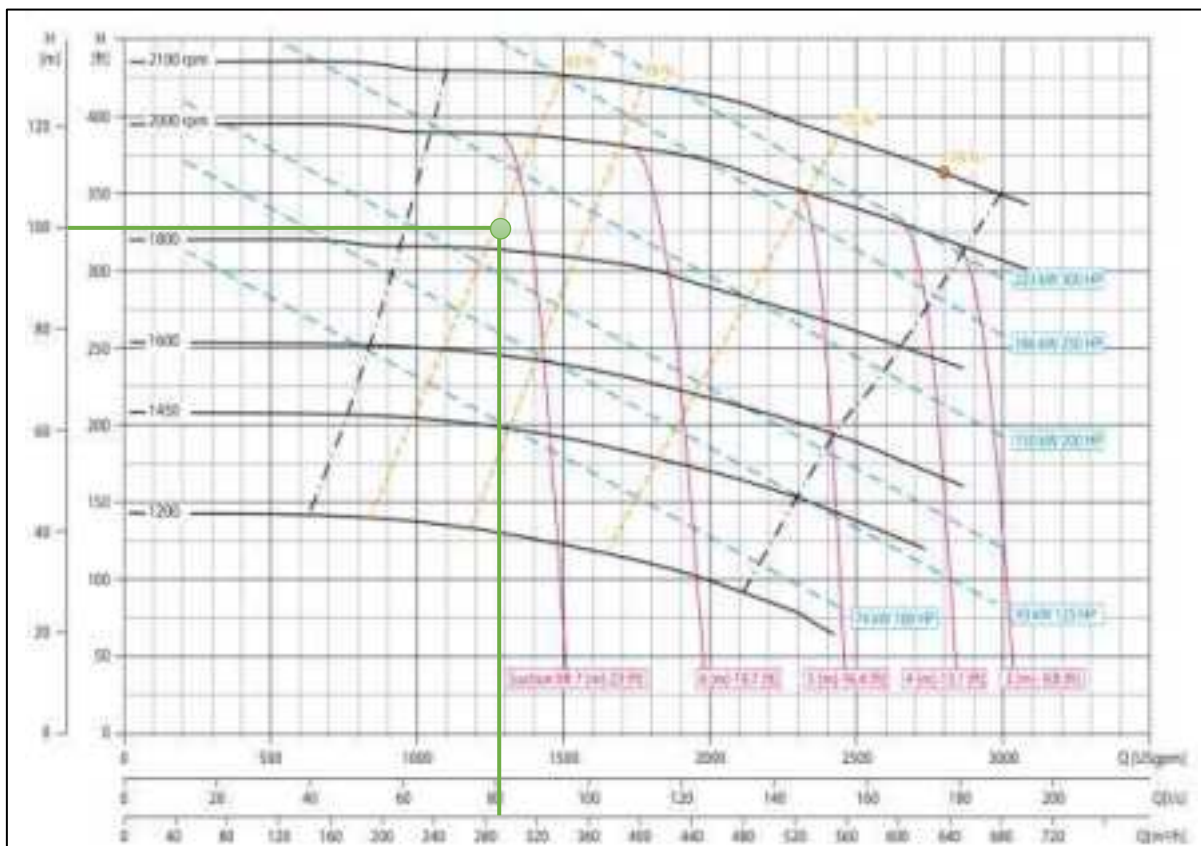
**Parámetros de operación de la bomba – goteo subterráneo**

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal (Q)	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	296.20
Altura dinámica total (TDH)	M	100.00
Potencia hidráulica	HP	109.15
Potencia en el eje	HP	172.60
Potencia del motor	HP	172.60
Eficiencia	%	62.80
NPSH requerido	M	3.10

Fuente: Atlas Copco (2026). Elaborado por: El Autor, 2026

Se verifica que el punto de operación se encuentre dentro del rango de funcionamiento de la bomba seleccionada, esto garantiza condiciones adecuadas de operación.

Figura 2.

**Curva de operación de la bomba – goteo subterráneo**

Fuente: Atlas Copco (2026). Elaborado por: El Autor, 2026

**4.2.3.7.3. Aspersión.**

A continuación, se presentan los parámetros de operación de la bomba que se requiere para su correcto funcionamiento.

Tabla 26.

**Parámetros de operación de la bomba – aspersión**

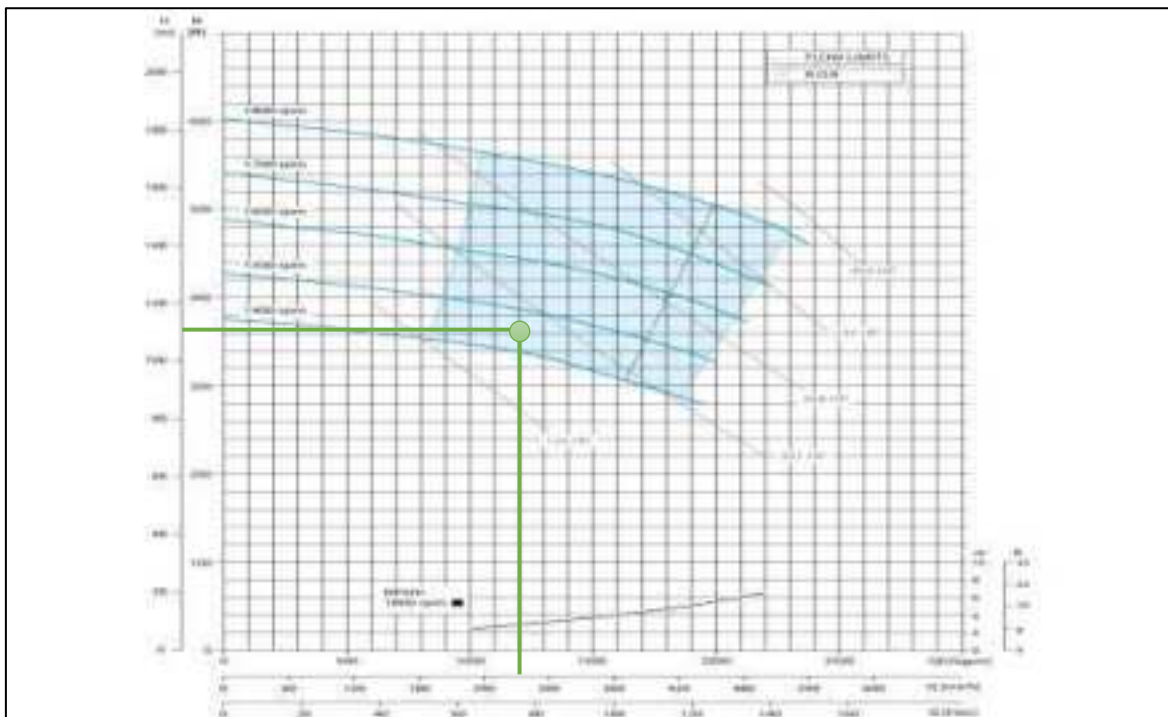
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal (Q)	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	286.16
Altura dinámica total (TDH)	m	115.00
Potencia hidráulica	HP	120.38
Potencia en el eje	HP	187.50
Potencia del motor	HP	208.33
Eficiencia	%	64.20
NPSH requerido	m	3.30

Fuente: Atlas Copco (2026). Elaborado por: El Autor, 2026

Se verifica que el punto de operación se encuentre dentro del rango de funcionamiento de la bomba seleccionada, esto garantiza condiciones adecuadas de operación.

**Figura 3.**

***Curva de operación de la bomba – aspersion***



Fuente: Atlas Copco (2026). Elaborado por: El Autor, 2026

**4.2.3.7.4. Microaspersión.**

En la siguiente tabla se presentan los parámetros de operación de la bomba que se requiere para su correcto funcionamiento.

**Tabla 27.**

***Parámetros de operación de la bomba – microaspersión***

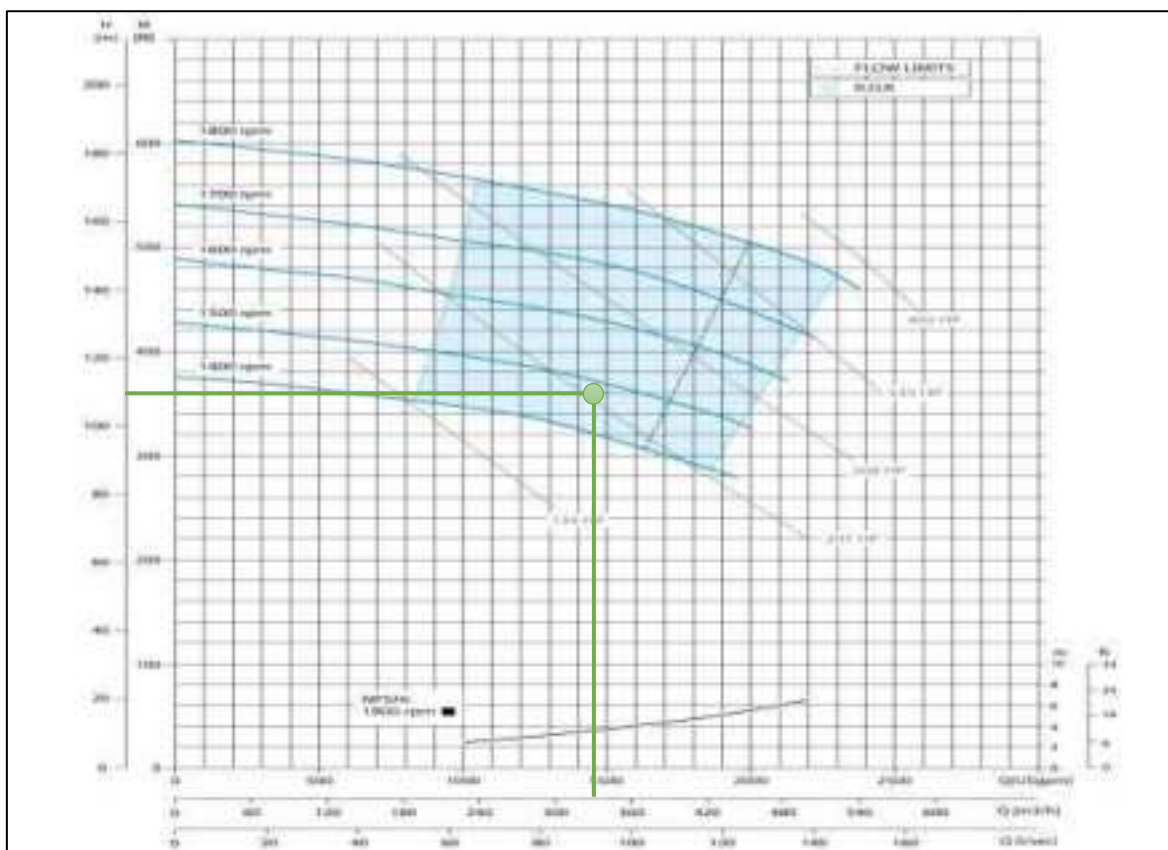
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal (Q)	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	331.56
Altura dinámica total (TDH)	m	110.00
Potencia hidráulica	HP	132.98
Potencia en el eje	HP	195.40
Potencia del motor	HP	217.11
Eficiencia	%	68.10
NPSH requerido	m	3.70

Fuente: Atlas Copco (2026). Elaborado por: El Autor, 2026

Se verifica que el punto de operación se encuentre dentro del rango de funcionamiento de la bomba seleccionada, esto garantiza condiciones adecuadas de operación.

**Figura 4.**

***Curva de operación de la bomba – microaspersión***



**Fuente: Atlas Copco (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

#### **4.2.3.8. Requerimiento energético de las metodologías de riego**

Para la estimación del requerimiento energético de los sistemas de riego se establecen criterios de cálculo basados en las condiciones operativas definidas en el diseño hidráulico. Se considera un tiempo de funcionamiento de 8 horas diarias durante todo el año, equivalente a 2 920 horas de operación anual. Asimismo, se utiliza la potencia del motor de cada sistema como referencia para el cálculo del consumo energético, debido a que este valor representa la energía real demandada durante la operación. Por último, el consumo total de energía se relaciona con el área neta bajo riego, 58.17 ha, con el fin de expresar el requerimiento energético en términos de kWh ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, esto permite la comparación entre las distintas alternativas de riego evaluadas.

**Tabla 28.****Requerimiento energético de los sistemas de riego**

Sistema de riego	Potencia del motor (HP)	Potencia del motor (kW)	Tiempo anual (h)	Energía total (kWh año <sup>-1</sup> )	Requerimiento energético (kWh ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
G. superficial	149.13	111.20	2 920	324 704.00	5 581.46
G. subterráneo	172.60	128.60	2 920	375 512.00	6 454.05
Aspersión	208.33	155.20	2 920	453 184.00	7 789.63
Microaspersión	217.11	161.70	2 920	472 164.00	8 116.68

**Elaborado por: El Autor, 2026**

El requerimiento energético de los sistemas de riego presenta una relación directa con la potencia del motor y las condiciones hidráulicas de operación. Los sistemas que demandan mayores caudales y alturas dinámicas totales registran un mayor consumo energético por unidad de superficie, destacándose los sistemas de microaspersión y aspersion como los de mayor demanda energética. Esto se debe a que requieren presiones de trabajo más elevadas para garantizar una distribución adecuada del agua y un funcionamiento eficiente de los emisores dentro del sistema.

#### **4.3 Análisis de los costos de implementación de cada sistema de riego presurizado diseñado**

A continuación, se presentan los costos de implementación correspondientes a cada sistema de riego diseñado, segmentados en costos de módulos y costos de línea principal, con el propósito de detallar de manera más precisa la inversión requerida en cada componente del sistema. Esta distribución permite identificar los elementos que representan una mayor incidencia económica dentro del diseño hidráulico propuesto.

Además, cabe destacar que, para cada sistema de riego diseñado, se considera un 15% adicional del costo total correspondiente a accesorios complementarios, tales como conexiones, adaptadores, uniones y demás elementos necesarios para el correcto funcionamiento e instalación del sistema. Este valor forma parte del costo real total de implementación y permite obtener una estimación económica más cercana a las condiciones reales de ejecución del proyecto.

### 4.3.1 Costos del sistema de riego por goteo superficial

A continuación, se detallan los costos de tuberías, emisores y válvulas del sistema de riego por goteo superficial.

**Tabla 29.**

#### **Costos de módulos – riego por goteo superficial**

Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Gotero PCJ-LCNL 2 LH <sup>1</sup>	585 974	0.15	87 896.10
Manguera PE ciega 16012 – 400m	733	18.00	86 494.00
Tubo PVC E/C 50mm x 0.80MPa	922	11.53	10 630.66
Tubo PVC E/C 63mm x 0.63MPa	91	13.83	1 258.53
Tubo PVC E/C 75mm x 0.50MPa	6	15.70	94.20
Válvula Bermad serie 200 1"	17	36.11	613.87
Válvula Bermad serie 200 1.5"	5	191.48	957.40
Válvula Dorot 2"	39	119.54	4 662.06
<b>Total</b>			<b>192 606.82</b>

**Fuente: IrriCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

**Tabla 30.**

#### **Costos de la línea principal – riego por goteo superficial**

Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Válvula de aire triple acción	15	102.61	1 539.15
Tubo PVC E/C 90mm x 1.25MPa	6	45.50	273.00
Tubo PVC E/C 90mm x 1.00MPa	141	37.75	5 322.75
Tubo PVC E/C 90mm x 0.80MPa	112	30.70	3 438.40
Tubo PVC E/C 90mm x 0.63MPa	82	24.95	2 045.90
Tubo PVC E/C 90mm x 0.50MPa	55	22.05	1 212.75
Tubo PVC E/C 110mm x 0.80MPa	21	44.90	942.90
Tubo PVC E/C 110mm x 1.00MPa	40	54.25	2 170.00
Tubo PVC E/C 110mm x 1.25MPa	37	68.25	2 525.25
Tubo PVC E/C 140mm x 1.00MPa	49	70.24	3 441.76
Tubo PVC E/C 160mm x 1.25MPa	261	88.48	23 093.28
Tubo PVC E/C 160mm x 1.00MPa	137	78.44	10 746.28

Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Tubo PVC E/C 225mm x 1.00MPa	20	182.08	3 641.60
Tubo PVC E/C 250mm x 1.25MPa	71	250.00	17 750.00
<b>Total</b>			<b>78 143.02</b>

**Fuente: IrriCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

#### **4.3.2 Costos del sistema de riego por goteo subterráneo**

A continuación, se detallan los costos de tuberías, emisores y válvulas del sistema de riego por goteo subterráneo.

**Tabla 31.**

#### **Costos de módulos – riego por goteo subterráneo**

Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Uniram ASXR16012 1.6 LH <sup>1</sup> 500m	587	313.53	184 042.11
Tubo PVC E/C 50mm x 0.8MPa	761	11.53	8 774.33
Tubo PVC E/C 63mm x 0.63MPa	286	13.83	3 955.38
Tubo PVC E/C 75mm x 0.50MPa	44	15.70	690.80
Tubo PVC E/C 90mm x 0.63MPa	20	24.95	499.00
Válvula Bermad serie 200 1"	30	36.11	1 083.30
Válvula Bermad serie 200 1.5"	5	191.48	957.40
Válvula Dorot 2"	31	119.54	3 705.74
<b>Total</b>			<b>203 708.06</b>

**Fuente: IrriCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

**Tabla 32.**

#### **Costos de la línea principal – riego por goteo subterráneo**

Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Válvula de aire triple acción	16	102.61	1 641.76
Tubo PVC E/C 90mm x 1.00MPa	67	37.75	2 529.25
Tubo PVC E/C 90mm x 0.80MPa	107	30.70	3 284.90
Tubo PVC E/C 90mm x 0.63MPa	60	24.95	1 497.00
Tubo PVC E/C 90mm x 0.50MPa	91	22.05	2 006.55
Tubo PVC E/C 110mm x 0.80MPa	63	44.90	2 828.70

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Tubo PVC E/C 110mm x 0.63MPa	24	36.00	864.00
Tubo PVC E/C 110mm x 0.50MPa	31	31.00	961.00
Tubo PVC E/C 110mm x 1.00MPa	180	54.25	9 765.00
Tubo PVC E/C 110mm x 1.25MPa	2	68.25	136.50
Tubo PVC E/C 160mm x 1.25MPa	31	88.48	2 742.88
Tubo PVC E/C 160mm x 1.00MPa	145	78.44	11 373.80
Tubo PVC E/C 200mm x 1.25MPa	102	152.98	15 603.96
Tubo PVC E/C 200mm x 1.00MPa	174	113.05	19 670.70
Tubo PVC E/C 250mm x 1.00MPa	24	196.42	4 714.08
Tubo PVC E/C 315mm x 1.00MPa	66	323.88	21 376.08
<b>Total</b>			<b>100 996.16</b>

**Fuente: IrriCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

#### **4.3.3 Costos del sistema de riego por aspersión**

A continuación, se detallan los costos de tuberías, emisores y válvulas del sistema de riego por aspersión.

**Tabla 33.**

#### **Costos de módulos – riego por aspersión**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Tubo flex BD 16mm x 0.25MPa 400m	150	68.00	10 200.00
Tubo PVC E/C 25mm x 1.25MPa	14 519	4.36	63 302.84
Tubo PVC E/C 50mm x 0.80MPa	898	11.53	10 353.94
Tubo PVC E/C 63mm x 0.63MPa	259	13.83	3 581.97
Tubo PVC E/C 75mm x 0.50MPa	63	15.70	989.10
Tubo PVC E/C 90mm x 0.63MPa	20	24.95	499.00
Válvula Bermad serie 200 1"	1	36.11	36.11
Válvula Bermad serie 200 1.5"	1	191.48	191.48
Válvula Dorot 2"	75	119.54	8 965.50
Válvula Dorot 3"	18	170.76	3 073.68
Rivulis RFR micro 30 lph 3/8"	26 030	1.06	27 591.80
Aspersor Mini Wobbler 1/2"	21 752	0.81	17 619.12
<b>Total</b>			<b>146 404.54</b>

**Fuente: IrriCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026**

**Tabla 34.****Costos de la línea principal – riego por aspersión**

Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Válvula de aire triple acción	19	102.61	1 949.59
Tubo PVC E/C 90mm x 1.25MPa	171	45.50	7 780.50
Tubo PVC E/C 90mm x 1.00MPa	129	37.75	4 869.75
Tubo PVC E/C 90mm x 0.80MPa	119	30.70	3 653.30
Tubo PVC E/C 90mm x 0.63MPa	30	24.95	748.50
Tubo PVC E/C 90mm x 0.50MPa	38	22.05	837.90
Tubo PVC E/C 110mm x 1.00MPa	21	54.25	1 139.25
Tubo PVC E/C 110mm x 1.25MPa	67	68.25	4 572.75
Tubo PVC E/C 140mm x 1.00MPa	110	70.24	7 726.40
Tubo PVC E/C 160mm x 1.25MPa	526	88.48	46 540.48
Tubo PVC E/C 160mm x 1.00MPa	27	78.44	2 117.88
Tubo PVC E/C 225mm x 1.00MPa	15	182.08	2 731.20
Tubo PVC E/C 250mm x 1.25MPa	25	250.00	6 250.00
Tubo PVC E/C 250mm x 1.00MPa	4	196.42	785.68
Tubo PVC E/C 315mm x 1.25 MPa	63	391.59	24 670.17
<b>Total</b>			<b>116 373.35</b>

Fuente: IrriCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026

#### 4.3.4 Costos del sistema de riego por microaspersión

A continuación, se detallan los costos del sistema de riego por aspersión.

**Tabla 35.****Costos de módulos – riego por microaspersión**

Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Tubo flex BD 16mm x 0.25MPa 400m	367	68.00	24 956.00
Tubo PVC E/C 50mm x 0.80MPa	542	11.53	6 249.26
Tubo PVC E/C 63mm x 0.63MPa	201	13.83	2 779.83
Tubo PVC E/C 75mm x 0.50MPa	126	15.70	1 978.20
Válvula Dorot 2"	17	119.54	2 032.18
Válvula Dorot 3"	29	170.76	4 952.04
Rivulis RFR micro 30 lph 3/8"	64 924	1.06	68 819.44
<b>Total</b>			<b>111 766.95</b>

Fuente: IrriCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026

**Tabla 36.****Costos de la línea principal – riego por microaspersión**

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Válvula de aire triple acción	15	102.61	1 539.15
Tubo PVC E/C 90mm x 1.00MPa	13	37.75	490.75
Tubo PVC E/C 90mm x 0.80MPa	31	30.70	951.70
Tubo PVC E/C 90mm x 0.63MPa	29	24.95	723.55
Tubo PVC E/C 90mm x 0.50MPa	3	22.05	66.15
Tubo PVC E/C 140mm x 1.00MPa	198	70.24	13 907.52
Tubo PVC E/C 140mm x 0.80MPa	93	57.57	45 354.01
Tubo PVC E/C 140mm x 0.63MPa	69	45.99	3 173.31
Tubo PVC E/C 160mm x 1.25MPa	214	88.48	18 934.72
Tubo PVC E/C 200mm x 1.25MPa	80	152.98	12 238.40
Tubo PVC E/C 200mm x 1.00MPa	141	113.05	15 940.05
Tubo PVC E/C 250mm x 1.00MPa	19	196.42	3 731.98
Tubo PVC E/C 315mm x 1.25MPa	96	391.59	37 592.64
Tubo PVC E/C 315mm x 1.00MPa	1	323.88	323.88
<b>Total</b>			<b>114 967.81</b>

Fuente: IrriCAD (2026). Elaborado por: El Autor, 2026

#### 4.3.5 Estimación de costos totales de los sistemas de riego

**Tabla 37.****Estimación de costos totales**

Sistema de riego	Costo de módulos (USD)	Costo línea principal (USD)	Costo total (USD)	Costo por ha (USD)
Goteo superficial	192 606.82	78 143.02	270 749.84	4 654.46
Goteo subterráneo	203 708.06	100 996.16	304 704.22	5 238.17
Aspersión	146 404.54	116 373.35	262 777.89	4 517.41
Microaspersión	111 766.95	114 967.81	226 734.76	3 897.80

Elaborado por: El Autor, 2026

#### 4.3.6 Estructura de los costos del riego por goteo superficial

La inversión total asciende a USD 270 749.84 (USD 4 654.46 ha<sup>-1</sup>). Los dos componentes de mayor peso son los goteros autocompensantes (USD 87 896.10) y la manguera PE ciega (USD 86 494.00), que en conjunto representan el 64.4% del costo total. Esto evidencia que el alto número de emisores (585 974 unidades) y la extensa longitud de laterales dominan la inversión en módulos. La línea

principal, aunque con tuberías de hasta 250 mm de diámetro, solo representa el 28.9% del total, lo que indica que la topografía irregular impacta más en los laterales que en la red de conducción.

#### **4.3.7 Estructura de los costos del riego por goteo subterráneo**

Con un costo total de USD 304 704.22 (USD 5 238.17 ha<sup>-1</sup>), es la alternativa más cara. El elemento crítico es la cinta UniRam ASXR (USD 184 042.11), que por sí sola supone el 60.4% del costo total. Su precio unitario (USD 313.53 por rollo de 500 m) es muy superior al de la manguera ciega del goteo superficial, debido al sistema anti-raíces y al mecanismo anti-sifón. La línea principal también es más costosa que en el goteo superficial (USD 100 996.16 frente a USD 78 143.02), porque se requieren tuberías de 315 mm para transportar el caudal de hasta 296 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

#### **4.3.8 Estructura de los costos del riego por aspersión**

La inversión total alcanza USD 262 777.89 (USD 4 517.41 ha<sup>-1</sup>). Aquí el componente más relevante son las tuberías de PVC de 25 mm (USD 63 302.84), que constituyen la red terciaria para los aspersores y los microaspersores en zonas de pendiente. Los aspersores mini-Wobbler y los microaspersores RFR suman USD 45 210.92, un valor intermedio. La línea principal es la más cara de todos los sistemas (USD 116 373.35), debido a que el número total de módulos es muy alto (95) y la red de distribución debe cubrir toda la parcela con tuberías de 315 mm y 160 mm en grandes cantidades.

#### **4.3.9 Estructura de los costos del riego por microaspersión**

Resulta la alternativa de menor costo total USD 226 734.76 (USD 3 897.80 ha<sup>-1</sup>). La razón principal es que utiliza menos tuberías de pequeño diámetro y el número de emisores (64 924) es inferior al del goteo superficial. El desembolso más significativo es los microaspersores RFR (USD 68 819.44). A pesar de tener que instalar tuberías de 315 mm en la línea principal, el menor caudal requerido (331 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, similar al de aspersión) y la menor longitud de red secundaria abaratan la inversión.

## 5. DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas identificadas en la parroquia Progreso, caracterizadas por una ETo elevada durante la mayor parte del año, justifican la implementación de sistemas de riego presurizado debido a la alta demanda hídrica del cultivo de pitahaya. Esta necesidad es coherente con lo reportado por Nikolaou et al. (2020), quienes evidencian que en ambientes con alta evaporación el riego por goteo alcanza eficiencias de hasta 80–90%, esto supera de manera significativa al riego por superficie. Del mismo modo, la decisión de emplear valores de Kc basados en FAO 56 y ajustados a estudios recientes coincide con lo expuesto por Vargas-Rodríguez et al. (2021), quienes demuestran que la programación del riego basada en la demanda real del cultivo permite reducir el consumo de agua y mejorar la eficiencia operativa en frutales, lo cual respalda el cálculo del ETc obtenido en este estudio.

Por otra parte, el análisis físico del suelo, que revela una textura arcillosa con alta retención de humedad y una infiltración básica moderada, se relaciona con la necesidad de utilizar sistemas presurizados que permitan aplicar el agua de forma controlada, esto evita saturación o escorrentía. Esta condición coincide con la evidencia presentada por Sánchez-Olivo y Pérez-Leira (2024), quienes destacan que la eficiencia del riego localizado depende en gran medida de una adecuada filtración y manejo hidráulico, es especial para suelos con características complejas. Adicional, el tamaño del predio y la disponibilidad de caudal del pozo se alinean con lo mostrado por Cisneros-Zayas et al. (2020), quienes reportan que la programación del riego en superficies amplias, cuando se realiza de manera sectorizada y basada en la demanda, permite reducir el uso de agua y energía, principios que sustentan la planificación hidráulica realizada para la implementación del riego en la zona de estudio.

Los resultados del diseño agronómico e hidráulico evidencian que los sistemas de goteo superficial y subterráneo presentan alta estabilidad de presión y mínima variación de caudal entre turnos, lo que refleja una adecuada uniformidad de aplicación. Este comportamiento coincide con lo señalado por Nikolaou et al. (2020), quienes reportan eficiencias de 80–90% en riego por goteo. Asimismo, la estabilidad observada en el goteo subterráneo guarda relación con Bringas-Burgos et al. (2020), quienes destacan importantes ahorros hídricos bajo este sistema, lo

que sugiere que la uniformidad hidráulica obtenida favorece la eficiencia en el uso del agua.

En contraste, el sistema por aspersión muestra mayor variabilidad de caudal entre turnos, aunque mantiene presión constante. Este resultado es coherente con Sánchez-Olivo y Pérez-Leira (2024), quienes reportan menor coeficiente de uniformidad en aspersión frente al riego localizado. Por su parte, la microaspersión presenta un comportamiento intermedio, con estabilidad aceptable pero menor uniformidad que el goteo, lo cual se alinea con Carriço et al. (2025), quienes indican que el goteo alcanza mayores niveles de eficiencia en el uso del agua en comparación con otros sistemas presurizados.

Adicional a esto, la sectorización en módulos y turnos permite distribuir el caudal de forma controlada, principio que coincide con Cisneros-Zayas et al. (2020), quienes señalan que la programación basada en demanda contribuye a optimizar el uso del agua y la energía

El análisis económico muestra que el goteo subterráneo presenta mayores costos en la zona de riego debido al uso de emisores especializados, lo que coincide con Bringas-Burgos et al. (2020), quienes mencionan una mayor dependencia de insumos en sistemas subsuperficiales. De igual manera, Jahangirpour y Zibaei (2022) indican que la modernización del riego incrementa la rentabilidad, aunque implica mayores costos energéticos, lo que respalda el mayor nivel de inversión observado.

En el sistema de aspersión, la alta inversión en emisores y tuberías refleja mayores requerimientos de infraestructura en campo; sin embargo, Araya-Portuguez y Fuentes-Quirós (2024) demuestran que la automatización puede reducir costos operativos y pérdidas hídricas, lo que sugiere que la rentabilidad depende del manejo técnico del sistema.

En cuanto a la red principal, los mayores costos de los sistemas de goteo se relacionan con la necesidad de mantener presión y uniformidad hidráulica, aspecto coherente con Nikolaou et al. (2020) y Carriço et al. (2025), quienes asocian mayores niveles de eficiencia con diseños hidráulicos más rigurosos. En este sentido, la microaspersión se posiciona como una alternativa intermedia tanto en desempeño técnico como en inversión económica.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Se concluye que ningún sistema de riego presurizado evaluado (goteo superficial, goteo subterráneo, aspersión y microaspersión) logra optimizar de forma simultánea el uso energético, el consumo hídrico y los costos de producción para el cultivo intensivo de pitahaya en suelos áridos y topografía irregular de la parroquia Progreso. Sin embargo, el riego por goteo superficial constituye la alternativa más equilibrada, ya que, a pesar de su costo de inversión por hectárea (USD 4 654) superior al de la microaspersión (USD 3 898), presenta el menor consumo energético ( $5\,581\text{ kWh ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ) y la mayor eficiencia hídrica (90-95%), variables prioritarias en una zona con caudal de pozo limitado (60-70 GPM). Las demás alternativas se descartan por razones concretas: el goteo subterráneo resulta más costoso (USD 5 238  $\text{ha}^{-1}$ ) sin ofrecer ventajas hidráulicas sobre el superficial; la aspersión muestra alta variabilidad de caudal (25.9%) y falla en pendientes superiores a 10 grados; y la microaspersión, aunque es la de menor inversión y la más sencilla de diseñar, presenta un consumo hídrico inferior solo por riego por aspersión y el mayor consumo energético ( $8\,117\text{ kWh ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ), lo que la hace inviable cuando el agua es el recurso más limitante.

Desde la perspectiva del diseño agronómico, físico e hidráulico, la complejidad varió de manera notable entre sistemas. La microaspersión resulta la más fácil de diseñar debido a la tolerancia de sus emisores auto compensantes a las variaciones topográficas. En contraste, los sistemas de goteo (superficial y subterráneo) presentan inconvenientes por su estrecho rango de presión de operación (0.5-4.0 bar), lo que obliga a subdividir el predio en muchos más módulos (61 y 66 de manera respectiva) para mantener presiones estables. La aspersión es el sistema más problemático: en pendientes mayores a 10 grados los aspersores pierden traslape y uniformidad, por lo que varios módulos deben reemplazarse por microaspersión, esto genera un sistema híbrido de mayor complejidad operativa. Como lección adicional, se identifica áreas del predio con topografía tan irregulares que no son aptas para el cultivo, los cuales deben destinarse a bosque secundario o conservación.

Una limitante clave que atraviesan todos los diseños es el incremento sustancial de los costos de implementación debido a la topografía irregular, ya que la necesidad de sectorizar en más módulos, tender tuberías de mayor longitud y

utilizar más válvulas y accesorios eleva la inversión inicial de cualquier sistema. Esta experiencia evidencia que, en terrenos complejos, una mayor subdivisión de módulos no debe interpretarse como una desventaja operativa, sino como un requisito técnico ineludible para garantizar la uniformidad de riego. Por lo tanto, en zonas áridas con topografía adversa, la priorización de la eficiencia hídrica y energética por encima de la mera minimización de la inversión inicial no solo es justificable, sino necesaria para la sostenibilidad del proyecto.

## **6.2 Recomendaciones**

Con base en la comparación técnica, energética y económica, se recomienda adoptar el riego por goteo superficial, esto priorizará la eficiencia hídrica y energética sobre una menor inversión inicial, y se descartan la microaspersión (mayor consumo energético), la aspersión (problemas en pendientes menos a 10 grados) y el goteo subterráneo (mayor costo sin ventajas claras).

Realizar una evaluación económica progresiva que permita verificar costos por módulo y, al mismo tiempo, controlar la uniformidad de instalación de emisores, tuberías y válvulas. Esta práctica facilita la detección temprana de desviaciones en el diseño original, asegura que la inversión se ejecute conforme a lo planificado y garantiza que el coeficiente de uniformidad se mantenga dentro de rangos aceptables, al evitar pérdidas de agua y descompensaciones hidráulicas.

Complementar el diseño hidráulico con estudios detallados del suelo y una programación del riego basada en la demanda real del cultivo, al utilizar sensores de humedad o estaciones meteorológicas locales que ajusten la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) en tiempo real, con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico. Asimismo, debido a la extensión del predio (58.17 ha netas bajo riego) y a su topografía irregular, se recomienda automatizar el sistema mediante válvulas eléctricas y un controlador programable, lo que permitirá manejar los 61 módulos de riego de manera eficiente, reducir la movilización constante de personal y liberar tiempo para otras labores culturales, sin afectar la uniformidad ni la frecuencia de riego.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agricultura Sostenible México. (2024). *Guía para transitar a un sistema de producción sostenible de pitahaya*. [https://agriculturasostenible.mx/public//docu/manuales/Guia\\_de\\_pitahaya\\_final.pdf](https://agriculturasostenible.mx/public//docu/manuales/Guia_de_pitahaya_final.pdf)
- Agrocity. (2024, 5, julio). *Ventajas y Desventajas de los Sistemas de Riego Presurizados*. <https://agrocity.mx/blogs/riego-agricola/ventajas-y-desventajas-de-los-sistemas-de-riego-presurizados?srsId=AfmBOop0CEIO336XhLf6HKC8aWtVOyaSBFNTmFPeAnMjcUFB6KBOHcB6>
- Angella, G., Angueira, S. P., López, J., & Barraza, G. A. (2017). *La modernización de los sistema de riego y la importancia de los aspectos “no estructurales”*. <https://www.researchgate.net/publication/321832980>
- Anjum, M. N., Cheema, M. J. M., Hussain, F., & Wu, R. S. (2023). Precision irrigation: Challenges and opportunities. En *Precision Agriculture: Evolution, Insights and Emerging Trends*, 85–101. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18953-1.00007-6>
- Araya-Portuguez, K., & Fuentes-Quirós, G. F.-Q. (2024). Sistema de riego automatizado para zonas rurales. *Revista Tecnología en Marcha*, 37(5), 92–102. <https://doi.org/10.18845/tm.v37i5.7222>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2014, 6, agosto). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. Registro Oficial Suplemento 305 de 06-ago-2014. <https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
- Atlas Copco. (2026). *Pump Size Calculator*. Atlas Copco – Construction Equipment Toolkit. <https://www.atlascopco.com/es-ec/construction-equipment/resources/toolkit/pump-size-calculator>
- Avidan, A. (1994). *Determinación del régimen de riego de los cultivos: Cálculo de las necesidades de riego* (Fascículo 3).
- Bringas-Burgos, B., Mendoza-Muñoz, I., Navarro-González, C., González-Ángeles, Á., & Jacobo-Galicia, G. (2020). Análisis de sistemas de riego por gravedad y goteo subsuperficial basada en una encuesta de muestra de conveniencia

- en el valle de Mexicali. *Revista Vínculos*, 5(3), 13.  
<https://doi.org/10.24133/vinculospe.v5i3.1725>
- Cariço, N., Felícissimo, D., Antunes, A., & Luz, P. B. da. (2025). Simulating water application efficiency in pressurized irrigation systems: A computational approach. *Water (Switzerland)*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/w17081217>
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera [CENID-RASPA], & Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, A. y P. [INIFAP]. (2004). *Diseño de sistemas de riego* (R. Anguiano Gallegos, Ed.).
- Christiansen, J. E. (1942). *Irrigation by sprinkling*. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station.
- Cisneros-Zayas, E., González-Robaina, F., Herrera- Puebla, J., Duarte-Díaz, C., & Matos-Cremé, H. (2020). Influencia de la programación del riego en los consumos energéticos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(4).  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586264983001>
- Connor Ferguson, J., Jason Krutz, L., Calhoun, J. S., Gholson, D. M., Merritt, L. H., Wesley, M. T., Broster, K. L., & Treadway, Z. R. (2020). Optimizing overhead irrigation droplet size for six Mississippi soils. *Agronomy*, 10(4).  
<https://doi.org/10.3390/agronomy10040574>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). [Art. 411, 412]. En *Registro Oficial* (Número 20). Registro Oficial 449 de 20-oct-2008.  
[https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador\\_act\\_ene-2021.pdf](https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf)
- Corzo-Ríos, L. J., Bautista-Ramírez, M. E., Gómez y Gómez, Y. de la M., & Torres-Bustillos, L. G. (2017). Frutas de cactáceas: Compuestos bioactivos y sus propiedades nutraceuticas. En *Propiedades Funcionales de hoy* (pp. 35–66). OmniaScience. <https://doi.org/10.3926/oms.360>
- El Comercio. (2025, septiembre 3). *La pitahaya de Ecuador conquista Estados Unidos y marca récord en exportaciones*.  
<https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/record-historico-para-pitahaya-ecuador-estados-unidos/>
- Faria, L. C., Nörenberg, B. G., Colombo, A., Dukes, M. D., Timm, L. C., Beskow, S., & Caldeira, T. L. (2019). Irrigation distribution uniformity analysis on a lateral-

- move irrigation system. *Irrigation Science*, 37, 195–206.  
<https://doi.org/10.1007/s00271-019-00619-5>
- Forslund, A., Ensink, J. H. J., Markussen, B., Battilani, A., Psarras, G., Gola, S., Sandei, L., Fletcher, T., & Dalsgaard, A. (2012). *Escherichia coli* contamination and health aspects of soil and tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) subsurface drip irrigated with on-site treated domestic wastewater. *Water Research*, 46(18), 5917–5934.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.08.011>
- Ghinassi, G. (2010, junio). Advanced technologies applied to hose reel rain-gun machines: new perspectives towards sustainable sprinkler irrigation. *XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR)*.
- Ghodgaonkar, A., Welsh, E., Judge, B., & Winter V, A. G. (2025). An empirical design theory for compact drip irrigation emitters. *Irrigation Science*.  
<https://doi.org/10.1007/s00271-024-00987-7>
- Green, D., & Pattison, I. (2022). Christiansen uniformity revisited: Re-thinking uniformity assessment in rainfall simulator studies. *Catena*, 217.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106424>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2014). *Introducción a la hidrología del Ecuador*. <https://www.inamhi.gob.ec/>
- IrriCAD. (s/f). *IRRICAD – Irrigation Design Software*. Recuperado el 8 de julio de 2025, de <https://www.irricad.com/>
- Jahangirpour, D., & Zibaei, M. (2022). Farmers' Decision to adoption of modern irrigation systems under risk condition: Application of stochastic efficiency with respect to a function approach. *Frontiers in Water*, 4.  
<https://doi.org/10.3389/frwa.2022.931694>
- Jiménez-Jiménez, S. I., Ojeda-Bustamante, W., Inzunza-Ibarra, M. A., & Marcial-Pablo, M. de J. (2021). Analysis of the NASA-POWER system for estimating reference evapotranspiration in the Comarca Lagunera, Mexico. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 13(2), 201–226.  
<https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.03.050>
- Kamber, E., Aydoğmuş, U., Yumurtacı Aydoğmuş, H., Gümüş, M., & Kahraman, C. (2024). Prioritization of drip-irrigation pump alternatives in agricultural

- applications: An integrated picture fuzzy BWM&CODAS methodology. *Applied Soft Computing*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.111308>
- Le Bellec, F., & Vaillant, F. (2011). Pitahaya (pitaya) (*Hylocereus* spp.). En *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (Vol. 4). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1533/9780857092618.247>
- Lim, T. K. (2012). *Edible medicinal and non-medicinal plants* (Springer Science & Business Media, Ed.; Ilustrada, Vols. 1, Fruits). [https://books.google.com.ec/books?id=oPkmKtciJwIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=oPkmKtciJwIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Lozano-Parra, J. (2018). Recursos hídricos: disponibilidad, variabilidad y gestión. *Revista de Geografía Norte Grande*, 71, 5–8. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022018000300005>
- Manke, E. B., Nörenberg, B. G., Faria, L. C., Tarjuelo, J. M., Colombo, A., Chagas Neta, M. C. C., & Parfitt, J. M. B. (2019). Wind drift and evaporation losses of a mechanical lateral-move irrigation system: Oscillating plate versus fixed spray plate sprinklers. *Agricultural Water Management*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105759>
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2013). *Aprendiendo a luchar contra la desertificación, degradación de tierras y sequía*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/06/aprendiendo3.pdf>
- Miranda, S. R. P., Celestino, A. R. M., Blancaflor, F. S. D., Guanzon, G. S., Ituriaga, J. I., & Naputol, A. T. (2025). IrriGaia: IoT-Integrated Robotic System for Comparative Analysis of Mist and Drip Irrigation. *2025 IEEE International Conference on Robotics and Technologies for Industrial Automation (ROBOTHIA)*, 1–6.
- Mora, D. P. (2011). *El cultivo de pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw) en temporada invernal*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/bff8ee09-c032-404b-8fcb-8c5f7d72d532/El-cultivo-de-Pitahaya-en-temporada-invernal.pdf>
- Morales, C. G., Pino, M. T., & del Pozo, A. (2013). Phenological and physiological responses to drought stress and subsequent rehydration cycles in two raspberry cultivars. *Scientia Horticulturae*, 162, 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.025>

- Moursy, M. A. M., ElFetyany, M., Meleha, A. M. I., & El-Bialy, M. A. (2023). Productivity and profitability of modern irrigation methods through the application of on-farm drip irrigation on some crops in the Northern Nile Delta of Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 62, 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.06.063>
- Murtiningrum, M., Nawan Rasyid, I., Christyaningrum, L., Fahrnunisa, E., & Ngadisih, N. (2022). Performance of Drip and Mist Irrigation to Supply Water for Vegetable. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 999(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/999/1/012013>
- NASA Langley Research Center. (s/f). *NASA Prediction Of Worldwide Energy Resource [POWER]*. 5 de julio de 2025, de <https://power.larc.nasa.gov/>
- Neupane, J., & Guo, W. (2019). Agronomic basis and strategies for precision water management: A review. En *Agronomy*, 9(2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020087>
- Nie, J., Wang, K., Chao, X., Li, J., Song, K., & Lv, L. (2023). Sustainable irrigation of pipeline fluid flow rate regulation based on traveling wave magnetic field. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2023.100896>
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Kitta, E., & Katsoulas, N. (2020). Implementing sustainable irrigation in water-scarce regions under the impact of climate change. *Agronomy*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy10081120>
- Niño, O. V., & Alzamora, F. M. (2018). *Equivalencia de coeficientes de rugosidad de Hazen-Williams, Chezy-Manning y Darcy-Weisbach para modelos de redes a presión en Epanet*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18393.98401/1>
- Odilov, S. (2025). Analysis of the operation of irrigation pumping units and their energy efficiency. *International journal of Science and Technology*, 2(5), 19–21. <https://doi.org/10.70728/tech.v2.i05.007>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (s/f). *Bases de datos y software*. Recuperado el 6 de julio de 2025, de <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los*

- requerimientos de agua de los cultivos*. (Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56, Ed.). <https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s00.htm>
- Paredes, P., Petry, M. T., Oliveira, C. M., Montoya, F., López-Urrea, R., & Pereira, L. S. (2024). Single and basal crop coefficients for estimation of water requirements of subtropical and tropical orchards and plantations with consideration of fraction of ground cover, height, and training system. *En Irrigation Science*, 42(6), 1059–1097. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00925-7>
- Pável Vargas-Rodríguez, D. I., Abel Dorta-Armaignac, I. I., Fernández-Hung, K. I., & Alberto Méndez-Jocik III, D. (2021). Considerations for the Rational Design of Drip Irrigation Systems. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4), 32–45. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542021000400004&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542021000400004&script=sci_arttext)
- Polla, G. (2020). Metodología para mejorar la eficiencia de aplicación de riego en un distrito del Alto Valle de Río Negro. *SEMIÁRIDA Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 30(1), 41–48. [https://doi.org/10.19137/semiarida.2020\(01\).4148](https://doi.org/10.19137/semiarida.2020(01).4148)
- Poudel, U. (2020). *AutoCAD: Application For Engineers*. <https://doi.org/10.31224/osf.io/kz43s>
- Rajaram, R., Ritchey, N., & Castellani, B. (2024). On the degree of uniformity measure for probability distributions. *Journal of Physics Communications*, 8(11). <https://doi.org/10.1088/2399-6528/ad8f10>
- Rolim, J., & Teixeira, J. L. (2016). The design and evaluation of travelling gun irrigation systems: Enrolador software. *Engenharia Agrícola*, 36(5), 917–927. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p917-927/2016>
- Román López, A., Inzunzu Ibarra, M. A., Catlán Valencia, E. A., & Villa Castorena, M. M. (2013). Indicadores de eficiencia del agua de riego aplicada en dos sistemas de riego por aspersión. *Agrofaz*, 13(2), 9–14. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5714640>
- Saha, A. K., & McMaine, J. (2023). Applicability and sensitivity of field hydrology modeling by the soil plant air water (SPAW) model under changes in soil properties. *Journal of the ASABE*, 66(4), 809–823. <https://doi.org/10.13031/ja.15306>

- Sánchez-Olivo, M. A., & Pérez-Leira, R. (2024). Diagnóstico y evaluación de sistemas de riego presurizados del cantón Portoviejo en Manabí, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 33(3). <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1881>
- Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1569–1578. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117>
- Senninger Irrigation. (s/f). *WinSIPP™3 [Software]*. Recuperado el 8 de julio de 2025, de <https://agriculture.hunterirrigation.com/es/product/winsipp-es>
- Sowby, R. B., & Dicataldo, E. (2022). The energy footprint of U.S. irrigation: A first estimate from open data. *Energy Nexus*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100066>
- Spinelli, G., Bonarrigo, A. C., Cui, W., Grobwsky, K., Jordan, S. H., Ondris, K., Prieto García, C., Redding, K., Waldman, K. Z., & Dahlke, H. E. (2024). Evaluating the distribution uniformity of ten overhead sprinkler models used in container nurseries. *Agricultural Water Management*, 303. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109042>
- 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*, (20), 1–10.
- Vargas, Y. B., Pico, J. T., Díaz, A., Sotomayor, D. A., Burbano, A., Caicedo, C., Paredes, N., Congo, C., Tinoco, L. A., Bastidas, S., Chuquimarca, J., Macas, J., & Viera, W. (2020). *Manual del cultivo de pitahaya para la amazonía ecuatoriana*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5551>
- Veer, S., Khandve, S., Pawar, Y., Marale, K., & Waghule, Prof. A. (2022). Design water supply network using Epanet software. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(12), 108–112. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.47828>
- Verma, R., Dubey, S., Singh, A., & Kumar, M. (2021). Surface irrigation vs drip irrigation method. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 10, 33–36. <https://doi.org/10.5958/2394-448X.2021.00010.9>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020a). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición

- nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020b). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Waller, P., & Yitayew, M. (2016). Center pivot irrigation systems. En *Irrigation and drainage engineering*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-05699-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05699-9_12)
- Yambombo Guanutaxi, J. G. (2012). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías y accesorios* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. *Repositorio Institucional de la Universidad Central del Ecuador*. <https://core.ac.uk/download/pdf/71898012.pdf>
- Yao, J., Han, G., Liang, X., & Wang, M. (2025). Machine learning-based sizing model for tapered electrical submersible pumps under multiple operating conditions. *Processes*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/pr13041056>
- Zhang, J., Guan, K., Peng, B., Jiang, C., Zhou, W., Yang, Y., Pan, M., Franz, T. E., Heeren, D. M., Rudnick, D. R., Abimbola, O., Kimm, H., Caylor, K., Good, S., Khanna, M., Gates, J., & Cai, Y. (2021). Challenges and opportunities in precision irrigation decision-support systems for center pivots. En *Environmental Research Letters*, 16(5). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe436>

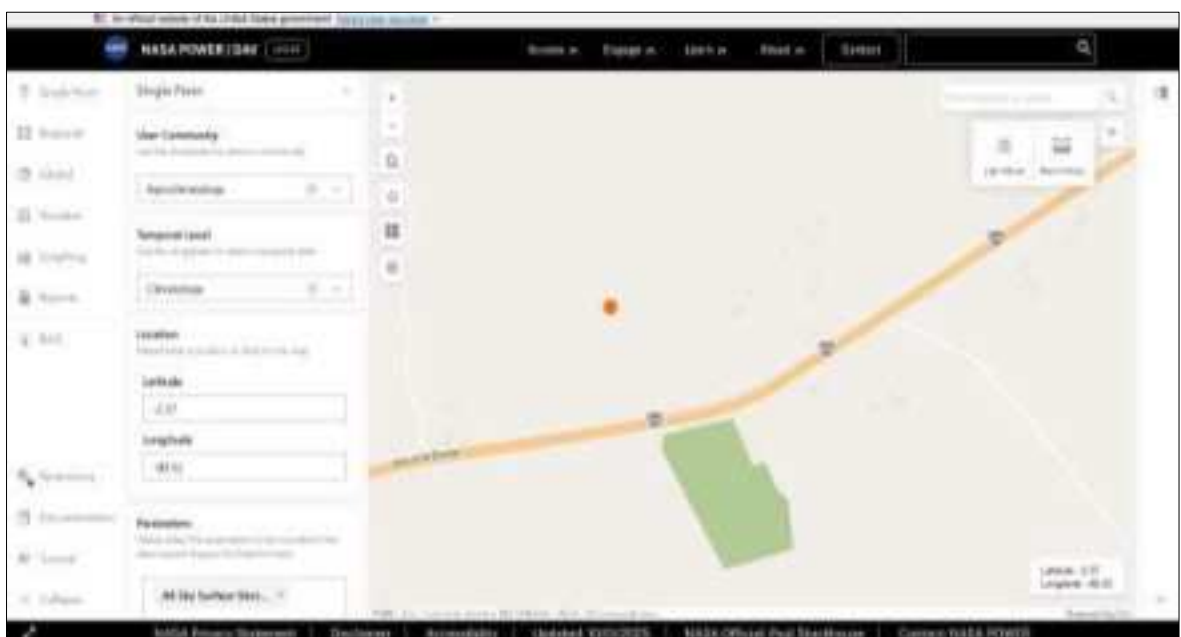
## ANEXOS

Figura 5.

*Delimitación del área de estudio*

Fuente: Google Earth, 2025. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 6.

*Extracción de las variables climáticas en NASA POWER*

Fuente: NASA POWER, 2025. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 7.

Eto calculator de la FAO



Fuente: FAO, 2025. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 8.

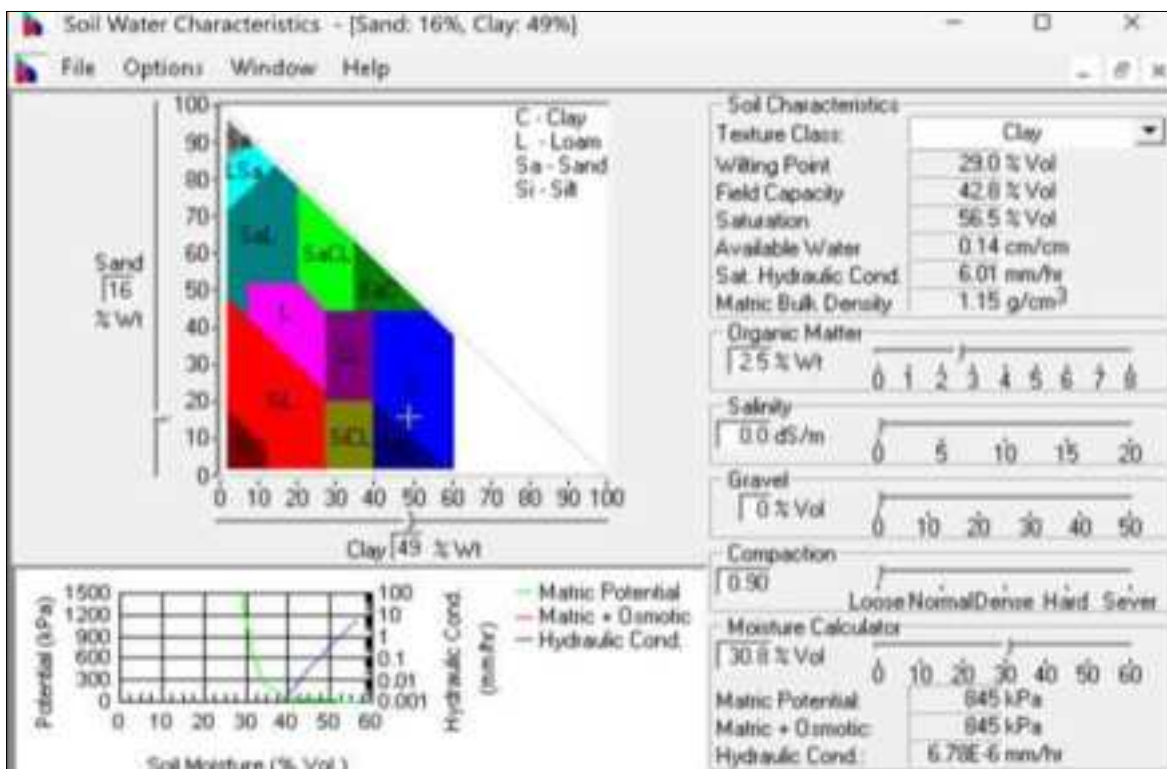
Análisis físico del suelo



Fuente: Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal de ESPOL, 2025

Figura 9.

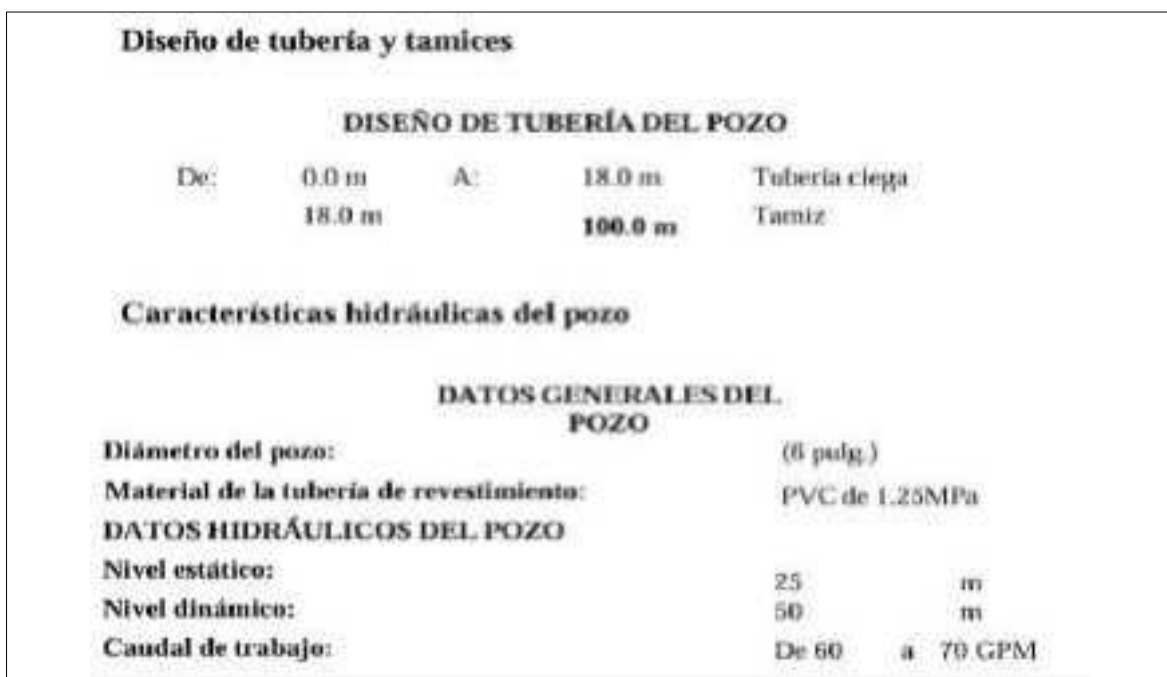
**Características hidráulicas del suelo (SPAW)**



Fuente: SPAW, 2025. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 10.

**Características hidráulicas del pozo**



Fuente: Burgos, 2024. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 11.

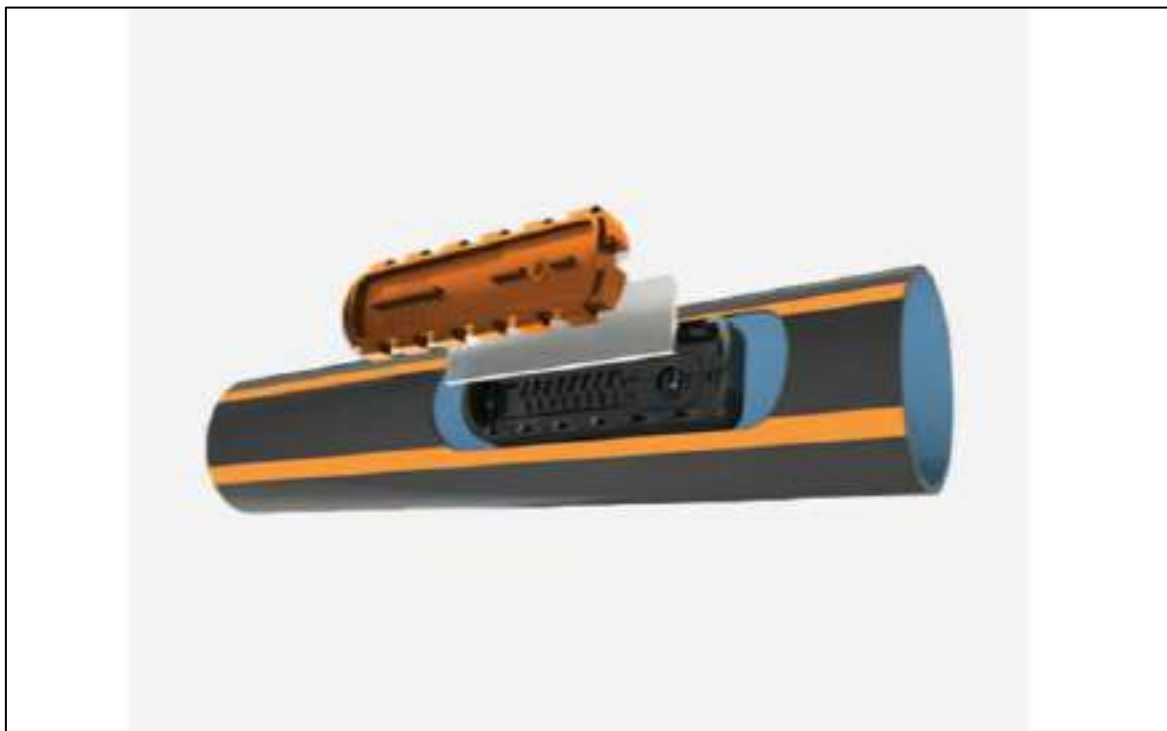
*Gotero PCJ-LCNL*



Fuente: Netafim, 2022. Elaborado por: El Autor, 2026

**Figura 12.**

***Línea de goteo UniRam ASXR***



**Fuente: Netafim, 2022. Elaborado por: El Autor, 2026**

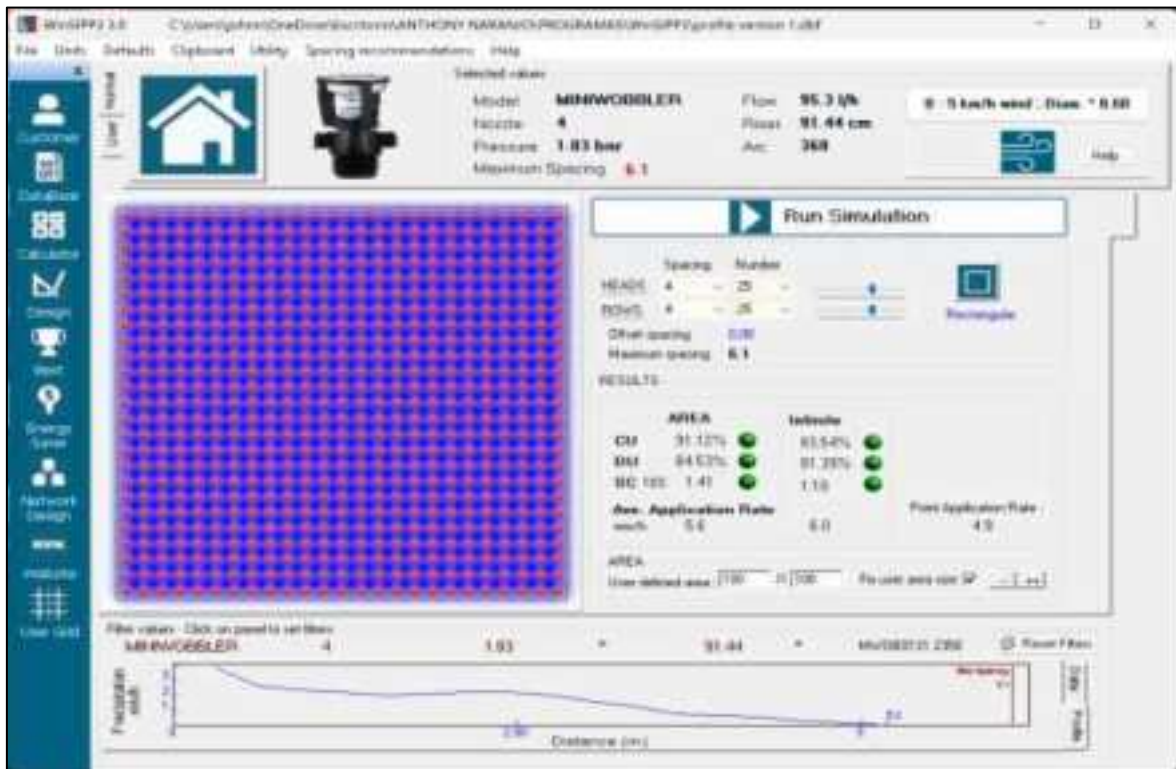
**Figura 13.**

***Manguera PE ciega 16012***



**Fuente: Netafim, 2022. Elaborado por: El Autor, 2026**

Figura 14.

**Aspersor mini-Wobbler**

Fuente: WinSIPP3, 2025. Elaborado por: El Autor, 2026.

Figura 15.

**Microaspersor RFR**

Fuente: Rivulis, 2025. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 16.

**Revisión de diseños de riego**

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 17.

**Parámetros hidráulicos**

Parámetros de Diseño

Parámetros Hidráulicos | Parámetros Económicos | Parámetros de Análisis

**Parámetros Hidráulicos**

La velocidad máxima de la zona	2	m/s
La velocidad máxima de la línea principal	1.5	m/s
Longitud mínima de la lateral	5	m
Virtual PRV Pérdida Mínima	0	m

**Parámetros de Lavado**

Velocidad requerida	0.3	m/s
Presión en el colector	0	m
Asignar Colectores Virtuales	<input type="checkbox"/>	
El tamaño del colector virtual	10	laterales

**Ajuste del Factor C de Hazen-Williams**

Ninguno  Escala  Absoluta 1

**Parámetros de Racionalización**

Tamaño de las tuberías (zona)	<input type="checkbox"/>
Tamaño de las tuberías (principal)	<input type="checkbox"/>
Zona de diseño a presión nominal	<input type="checkbox"/>
Línea principal de diseño a presión nominal	<input type="checkbox"/>

**Parámetros Varios**

Calcular tiempos de viaje	<input type="checkbox"/>
Excluir pérdidas menores en matriz principal	<input type="checkbox"/>
Uso de "U" para líneas no conectadas	<input type="checkbox"/>

Restaurar | Guardar | Aceptar | Cancelar | Ayuda

Fuente: IrrCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 18.

**Parámetros económicos**

Parámetros de Diseño

Parámetros Hidráulicos    Parámetros Económicos    Parámetros de Análisis

Costos

Periodo Operacional    Por Menor ▾

Margen o descuento (%)    0

Eficiencia de la bomba predeterminada (%)    75

Costo de la potencia (\$/kWh)    0.1

Tasa de interés predeterminada (%)    10

Periodo Operacional

Costo de capital contra el coste de funcionamiento

Operación de horas por año    2000

Zona operación de horas por año    500

Plazo económico (años)    10

Ciclo de riego (días)    1

Restaurar    Guardar    Aceptar    Cancelar    Ayuda

Fuente: IrrCAD, 2026.    Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 19.

**Parámetros de análisis**

Parámetros de Diseño

Parámetros Hidráulicos    Parámetros Económicos    Parámetros de Análisis

Iteraciones

Máxima para velocidad y LP    2000

Máxima para detalles de análisis    100

Veros

Tiempo de espera para infor    2500    ms

Tolerancias

Calculación de cintas    0.01    m

Convergencia LP    0.001

Análisis detallado de caudal fracción de cierre    0.001

Relaciones de Convergencia

Factor de análisis de la principal    0.001

Factor análisis detallado    0.75

Parámetros de Cintas

Núm. de emisores virtuales    2000

Método para elevaciones    DEM Elevación ▾

Fórmula de cálculo    Darcy Weisbach ▾

Viscosidad cinemática    1.13    m<sup>2</sup>/s x 10<sup>-6</sup>

D.E.M. Opciones

ABOS Método     AEI Método

D.E.M. Resolución    0    m

D.E.M. Precisión    0.1    %

D.E.M. Rejilla Tamaño    100

Máximos contornos para interpolación    100

Restaurar    Guardar    Aceptar    Cancelar    Ayuda



Fuente: AQUA, 2025. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 22.

*Diseño agronómico – riego por aspersion*



Fuente: AQUA, 2025. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 23.

*Diseño agronómico – riego por microaspersión*



Fuente: AQUA, 2025. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 24.

*Diseño físico – riego por goteo superficial*



Fuente: AQUA, 2025. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 25.

*Diseño físico – riego por goteo subterráneo*







Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 30.

*Diseño hidráulico de línea principal – goteo superficial*

Irricad Version 19.1		System Duty Report		9/3/2026	
<b>Company :</b>		<b>Designer :</b>		Anthony Naranjo V.	
<b>Client :</b>		<b>Design Date :</b>		13/2/2026	
<b>Site :</b>		<b>Report Date :</b>		9/3/2026 11:12:52	
<b>Notes :</b>					
<b>File :</b> Goteo superficial.doz					
<b>Water Supply :</b> Fuente 1					
Duty Number	On time	Off time	Pressure (m)	Flow (m <sup>3</sup> /h)	
1	1 : 0 : 0	1 : 1 : 0	110.00	237.19	
2	1 : 1 : 0	1 : 2 : 0	110.00	235.32	
3	1 : 2 : 0	1 : 3 : 0	110.00	237.43	
4	1 : 3 : 0	1 : 4 : 0	110.00	234.30	
5	1 : 4 : 0	1 : 5 : 0	110.00	236.45	

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026



Figura 33.

**Diseño hidráulico de línea principal – goteo subterráneo**

Irricad Version 19.1		System Duty Report		9/3/2026	
<b>Company :</b>		<b>Designer :</b>	Anthony Naranjo V.		
<b>Client :</b>		<b>Design Date :</b>	17/2/2026		
<b>Site :</b>		<b>Report Date :</b>	9/3/2026	11:15:42	
<b>Notes :</b>					
<b>File :</b>	Goteo subterraneo.dez				
<b>Water Supply : Fuente 1</b>					
Duty Number	On time	Off time	Pressure (m)	Flow (m3/h)	
1	1 : 0 : 0	1 : 1 : 0	100.00	295.42	
2	1 : 1 : 0	1 : 2 : 0	100.00	296.15	
3	1 : 2 : 0	1 : 3 : 0	100.00	293.63	
4	1 : 3 : 0	1 : 4 : 0	100.00	294.71	

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 34.

**Diseño hidráulico de módulos “A” – aspersión**

Sistema Zonas Configuración													
Numero de la Zona	Proceso	Lanzado	Colocada	Presión Posible	Cantidad de Elementos a los Elementos	Numero de Diámetros de Laterales	Numero de Diámetros de Mainlines	Alt. Posición de la Válvula (m)	Presión Actual de la Válvula (m)	Mín/Max Posible de los Elementos (m)	Presión Máxima Posible (m)	Presión Máxima Posible (m)	No usar sobre la base de datos
1-00	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-01	0	0	0	0	0	0	0	0.00	10.00	0.00 - 10.00	0.00	0.00	0
1-02	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.00 - 11.00	0.00	0.00	0
1-03	0	0	0	0	0	0	0	0.00	9.00	0.00 - 9.00	0.00	0.00	0
1-04	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-05	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-06	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-07	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-08	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-09	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-10	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-11	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-12	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-13	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-14	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-15	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-16	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-17	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-18	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-19	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-20	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-21	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-22	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-23	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-24	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-25	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-26	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-27	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-28	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-29	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-30	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-31	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-32	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-33	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-34	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-35	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-36	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-37	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-38	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-39	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0
1-40	0	0	0	0	0	0	0	0.00	11.00	0.10 - 11.00	0.00	0.00	0

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026



Figura 37.

**Diseño hidráulico de línea principal – aspersión**

Irricad Version 19.1		System Duty Report		9/3/2026	
<b>Company :</b>		<b>Designer :</b>		Anthony Naranjo V.	
<b>Client :</b>		<b>Design Date :</b>		22/2/2026	
<b>Site :</b>		<b>Report Date :</b>		9/3/2026 11:22:21	
<b>Notes :</b>					
<b>File :</b> Aspersión.dwg					
<b>Water Supply :</b> Fuente: 1					
Duty Number	On time	Off time	Pressure (m)	Flow (m3/h)	
1	1 : 0 : 0	1 : 1 : 0	115.00	219.54	
2	1 : 1 : 0	1 : 2 : 0	115.00	221.82	
3	1 : 2 : 0	1 : 3 : 0	115.00	224.10	
4	1 : 3 : 0	1 : 4 : 0	115.00	258.17	
5	1 : 4 : 0	1 : 5 : 0	115.00	268.75	
6	1 : 5 : 0	1 : 6 : 0	115.00	262.23	
7	1 : 6 : 0	1 : 7 : 0	115.00	283.37	
8	1 : 7 : 0	1 : 8 : 0	115.00	268.07	
9	1 : 8 : 0	1 : 9 : 0	115.00	286.16	
10	1 : 9 : 0	1 : 10 : 0	115.00	266.29	
11	1 : 10 : 0	1 : 11 : 0	115.00	275.72	

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 38.

**Diseño hidráulico de módulos “A” – microaspersión**

Design Zone Configuration													
Members of the Zone	Process	Length	Collection	Permissible Friction Losses (m)	Change in Elevation or Loss Gains (m)	Number of Lateralals	Number of Submains or Mainlines	Min Pressure at the Valve (m)	Pressure Actual de la Válvula (m)	Min/Max Pressure de los Emisores (m)	Pressure Minimum Permissible (m)	Pressure Maximum Permissible (m)	Is user define the base de datos
1-14	0	0	0	0	0	1	0	0.0	113.4	12.00 - 18.00	0.0	0.0	0
1-15	0	0	0	0	0	1	0	0.0	113.7	12.70 - 18.70	0.0	0.0	0
16	0	0	0	0	0	1	0	0.0	113.9	13.30 - 19.30	0.0	0.0	0
17	0	0	0	0	0	1	0	0.0	114.1	13.90 - 19.90	0.0	0.0	0
18	0	0	0	0	0	1	0	0.0	114.3	14.50 - 20.50	0.0	0.0	0
19	0	0	0	0	0	1	0	0.0	114.5	15.10 - 21.10	0.0	0.0	0
20	0	0	0	0	0	1	0	0.0	114.7	15.70 - 21.70	0.0	0.0	0
21	0	0	0	0	0	1	0	0.0	114.9	16.30 - 22.30	0.0	0.0	0
22	0	0	0	0	0	1	0	0.0	115.1	16.90 - 22.90	0.0	0.0	0
23	0	0	0	0	0	1	0	0.0	115.3	17.50 - 23.50	0.0	0.0	0
24	0	0	0	0	0	1	0	0.0	115.5	18.10 - 24.10	0.0	0.0	0
25	0	0	0	0	0	1	0	0.0	115.7	18.70 - 24.70	0.0	0.0	0
26	0	0	0	0	0	1	0	0.0	115.9	19.30 - 25.30	0.0	0.0	0
27	0	0	0	0	0	1	0	0.0	116.1	19.90 - 25.90	0.0	0.0	0
28	0	0	0	0	0	1	0	0.0	116.3	20.50 - 26.50	0.0	0.0	0
29	0	0	0	0	0	1	0	0.0	116.5	21.10 - 27.10	0.0	0.0	0
30	0	0	0	0	0	1	0	0.0	116.7	21.70 - 27.70	0.0	0.0	0
31	0	0	0	0	0	1	0	0.0	116.9	22.30 - 28.30	0.0	0.0	0
32	0	0	0	0	0	1	0	0.0	117.1	22.90 - 28.90	0.0	0.0	0
33	0	0	0	0	0	1	0	0.0	117.3	23.50 - 29.50	0.0	0.0	0
34	0	0	0	0	0	1	0	0.0	117.5	24.10 - 30.10	0.0	0.0	0
35	0	0	0	0	0	1	0	0.0	117.7	24.70 - 30.70	0.0	0.0	0
36	0	0	0	0	0	1	0	0.0	117.9	25.30 - 31.30	0.0	0.0	0
37	0	0	0	0	0	1	0	0.0	118.1	25.90 - 31.90	0.0	0.0	0
38	0	0	0	0	0	1	0	0.0	118.3	26.50 - 32.50	0.0	0.0	0
39	0	0	0	0	0	1	0	0.0	118.5	27.10 - 33.10	0.0	0.0	0
40	0	0	0	0	0	1	0	0.0	118.7	27.70 - 33.70	0.0	0.0	0
41	0	0	0	0	0	1	0	0.0	118.9	28.30 - 34.30	0.0	0.0	0
42	0	0	0	0	0	1	0	0.0	119.1	28.90 - 34.90	0.0	0.0	0
43	0	0	0	0	0	1	0	0.0	119.3	29.50 - 35.50	0.0	0.0	0
44	0	0	0	0	0	1	0	0.0	119.5	30.10 - 36.10	0.0	0.0	0
45	0	0	0	0	0	1	0	0.0	119.7	30.70 - 36.70	0.0	0.0	0

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 39.

**Diseño hidráulico de módulos “B” – microaspersión**

Diseño Zona Configuración

Nombre de la Zona	Proceso	Lancete	Colorido	Perdida Por Fricción	Cambio de Diámetro a los Estremos	Número de Estremos de Lanzetas	Número de Diámetros de Múltiples	Q/D Presión de la Válvula (psi)	Presión Actual de la Válvula (psi)	Mín/Max Presión de los Estremos (psi)	Presión Mínima Permitida (psi)	Presión Máxima Permitida (psi)	No usar sobre la Superficie de la Zona
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 40.

**Diseño hidráulico de línea principal – microaspersión**

Irricad Version 19.1 **System Duty Report** 9/3/2026

Company : Designer : Anthony Naranjo V.  
 Client : Design Date : 19/2/2026  
 Site : Report Date : 9/3/2026 11:48:10  
 Notes :

File : Microaspersión.dsz

Water Supply : Fuente 1

Duty Number	On time	Off time	Pressure (m)	Flow (m3/h)
1	1 : 0 : 0	1 : 1 : 0	110.00	321.30
2	1 : 1 : 0	1 : 2 : 0	110.00	321.30
3	1 : 2 : 0	1 : 3 : 0	110.00	330.48
4	1 : 3 : 0	1 : 4 : 0	110.00	320.73
5	1 : 4 : 0	1 : 5 : 0	110.00	322.35
6	1 : 5 : 0	1 : 6 : 0	110.00	331.56

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 41.

**Equipo de bombeo – goteo superficial**

## ADC H63C

### 6"x3" Dry Prime Centrifugal Pumps

---

**AC Flow series**

Part of Atlas Copco Flow series pumps, this versatile pump offers a wide range of performance with strong rugged design features that last longer in heavy duty application. Features like Atlas Copco Hinge Door and GML seal system offers outstanding ease of maintenance.

**Applications**

Construction, Dewatering, Waste Water, Mining, Oil & Gas and Municipal applications.



---

**Features and Benefits**

<p><b>Easy maintenance</b> Hinge Door for direct access to the impeller and pump volute.</p> 	<p><b>Wear Deflectors</b> Provides High performance and longer service life/Reliability.</p> 	<p><b>Heavy duty Vacuum pump</b> Provides excellent priming performance with high flow capacity.</p> 
--	--	--

Fuente: Atlas Copco, 2026.      Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 42.

**Equipo de bombeo – goteo subterráneo**

## ADC H86C

### 8"x6" Dry Prime Centrifugal Pumps

---

**AC Flow series**

Part of Atlas Copco Flow series pumps, this versatile pump offers a wide range of performance with strong rugged design features that last longer in heavy duty application. Features like Atlas Copco Hinge Door and GML seal system offers outstanding ease of maintenance.

**Applications**

Construction, Dewatering, Waste Water, Mining, Oil & Gas and Municipal applications.



---

**Features and Benefits**

<p><b>Easy maintenance</b> Hinge Door for direct access to the impeller and pump volute.</p> 	<p><b>Wear Deflectors</b> Provides High performance and longer service life/Reliability.</p> 	<p><b>Heavy duty Vacuum pump</b> Provides excellent priming performance with high flow capacity.</p> 
--	--	---

Fuente: Atlas Copco, 2026.      Elaborado por: El Autor, 2026

**Figura 43.*****Equipo de bombeo – aspersión*****Fuente: Atlas Copco, 2026.    Elaborado por: El Autor, 2026****Figura 44.*****Equipo de bombeo – microaspersión*****Fuente: Atlas Copco, 2026.    Elaborado por: El Autor, 2026**

Figura 45.

**Costos de materiales – goteo superficial**

Length/Number (m)	Description
292967	PCJ 2lph
922 Lengths	TUBO PVC E/C 50MM X 0.8MPA
91 Lengths	TUBO PVC E/C 63MM X 0.63 MPA
6 Lengths	TUBO PVC E/C 75MM X 0.5 MPA
8 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 1.25 MPA
141 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 1 MPA
112 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.8 MPA
82 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.63MPA
55 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.5 MPA
21 Lengths	TUBO PVC E/C 110MM X 0.8 MPA
40 Lengths	TUBO PVC E/C 110MM X 1 MPA
37 Lengths	TUBO PVC E/C 110MM X 1.25MPA
49 Lengths	TUBO PVC E/C 140MM X 1 MPA
261 Lengths	TUBO PVC E/C 160MM X 1.25 MPA
137 Lengths	TUBO PVC E/C 160MM X 1 MPA
20 Lengths	TUBO PVC E/C 225MM X 1.0 MPA
71 Lengths	TUBO PVC E/C 250MM X 1.25 MPA
17	1" Bemard Serie 200
5	1.5" Bemard Serie 200
39	valvula DOROT 2"

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 46.

**Costos de materiales – goteo subterráneo**

Length/Number (m)	Description
293148	unipan ASXR 16012 1.5LPH
761 Lengths	TUBO PVC E/C 50MM X 0.8MPA
288 Lengths	TUBO PVC E/C 63MM X 0.63 MPA
44 Lengths	TUBO PVC E/C 75MM X 0.5 MPA
67 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 1 MPA
107 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.8 MPA
90 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.63MPA
91 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.5 MPA
63 Lengths	TUBO PVC E/C 110MM X 0.8 MPA
24 Lengths	TUBO PVC E/C 110MM X 0.63 MPA
31 Lengths	TUBO PVC E/C 110MM X 0.5 MPA
190 Lengths	TUBO PVC E/C 110MM X 1 MPA
2 Lengths	TUBO PVC E/C 110MM X 1.25MPA
31 Lengths	TUBO PVC E/C 160MM X 1.25 MPA
145 Lengths	TUBO PVC E/C 160MM X 1 MPA
102 Lengths	TUBO PVC E/C 200MM X 1.25 MPA
174 Lengths	TUBO PVC E/C 200MM X 1.0 MPA
24 Lengths	TUBO PVC E/C 250MM X 1.0 MPA
66 Lengths	TUBO PVC E/C 315MM X 1.0 MPA
30	1" Bemard Serie 200
5	1.5" Bemard Serie 200
31	valvula DOROT 2"

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 47.

**Costos de materiales – aspersión**

Length/Number (m)	Description
98625	TUB FLEX BD 16mm X 0.25MPa
14519 Lengths	TUBO PVC E/C 25MM X 1.25 MPA
898 Lengths	TUBO PVC E/C 50MM X 0.8MPA
259 Lengths	TUBO PVC E/C 63MM X 0.63 MPA
63 Lengths	TUBO PVC E/C 75MM X 0.5 MPA
171 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 1.25 MPA
129 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 1 MPA
119 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.8 MPA
50 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.63MPA
38 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.5 MPA
21 Lengths	TUBO PVC E/C 110MM X 1 MPA
67 Lengths	TUBO PVC E/C 110MM X 1.25MPA
110 Lengths	TUBO PVC E/C 140MM X 1 MPA
528 Lengths	TUBO PVC E/C 140MM X 1.25 MPA
27 Lengths	TUBO PVC E/C 160MM X 1 MPA
15 Lengths	TUBO PVC E/C 225MM X 1.0 MPA
25 Lengths	TUBO PVC E/C 250MM X 1.25 MPA
4 Lengths	TUBO PVC E/C 250MM X 1.0 MPA
63 Lengths	TUBO PVC E/C 315MM X 1.25 MPA
1	1" Bernard Serie 200
1	1.5" Bernard Serie 200
75	valvula DOROT 2"
18	valvula DOROT 3"
21752	Asp Mini Wobbler 1/2"
26030	Rivulis RFR micro 30 LPH 3/8"
26030	RFR flow reg Mini Sprink 1.0 Blue 30ph

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 48.

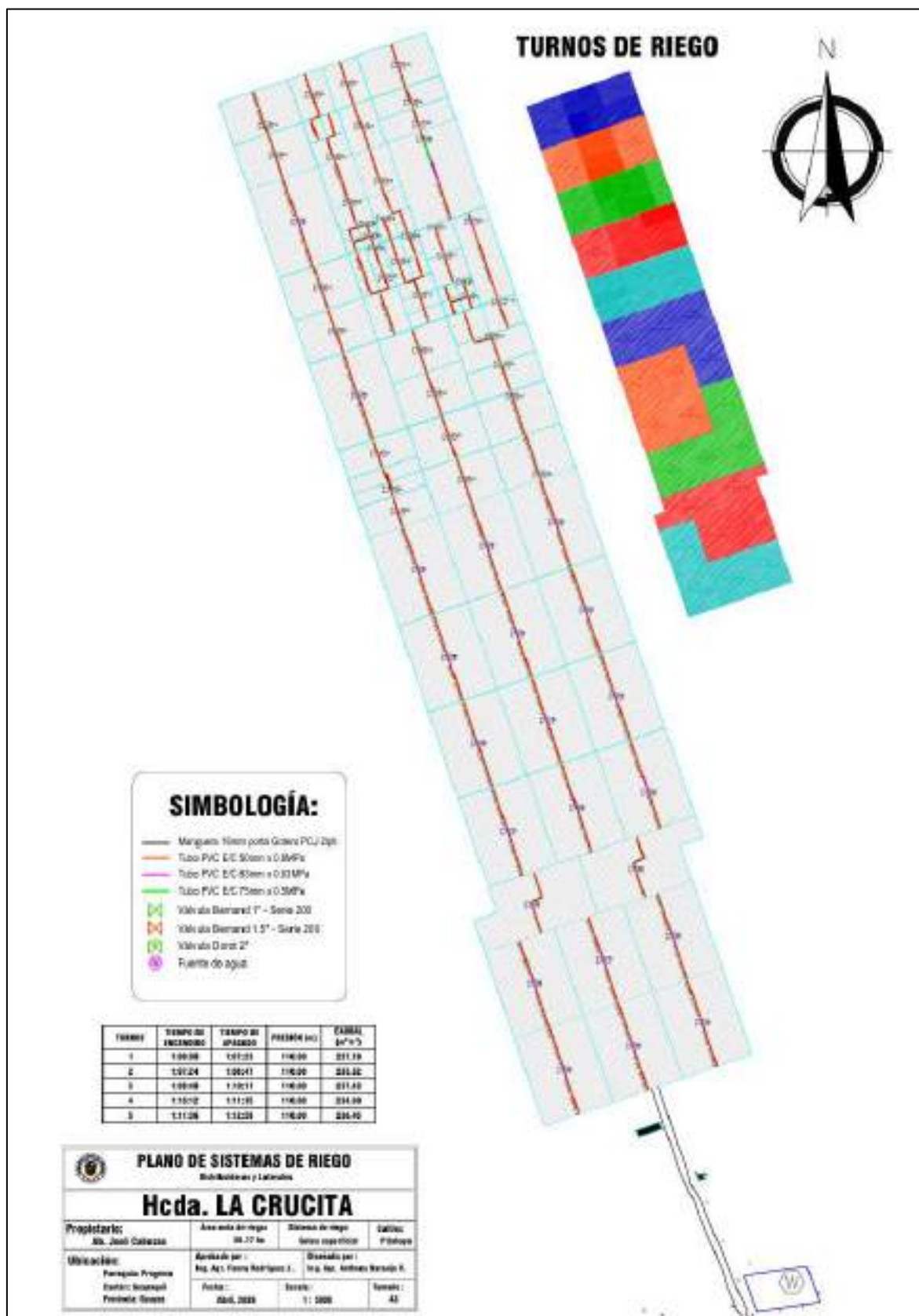
**Costos de materiales – microaspersión**

Length/Number (m)	Description
146590	TUB FLEX BD 16mm X 0.25MPa
542 Lengths	TUBO PVC E/C 50MM X 0.8MPA
201 Lengths	TUBO PVC E/C 63MM X 0.63 MPA
126 Lengths	TUBO PVC E/C 75MM X 0.5 MPA
13 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 1 MPA
31 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.8 MPA
29 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.63MPA
3 Lengths	TUBO PVC E/C 90MM X 0.5 MPA
198 Lengths	TUBO PVC E/C 140MM X 1 MPA
93 Lengths	TUBO PVC E/C 140MM X 0.8 MPA
69 Lengths	TUBO PVC E/C 140MM X 0.63 MPA
214 Lengths	TUBO PVC E/C 160MM X 1.25 MPA
80 Lengths	TUBO PVC E/C 200MM X 1.25 MPA
141 Lengths	TUBO PVC E/C 200MM X 1.0 MPA
19 Lengths	TUBO PVC E/C 250MM X 1.0 MPA
96 Lengths	TUBO PVC E/C 315MM X 1.25 MPA
1 Lengths	TUBO PVC E/C 315MM X 1.0 MPA
17	valvula DOROT 2"
29	valvula DOROT 3"
64924	Rivulis RFR micro 30 LPH 3/8"
64924	RFR flow reg Mini Sprink 1.0 Blue 30ph

Fuente: IrriCAD, 2026. Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 49.

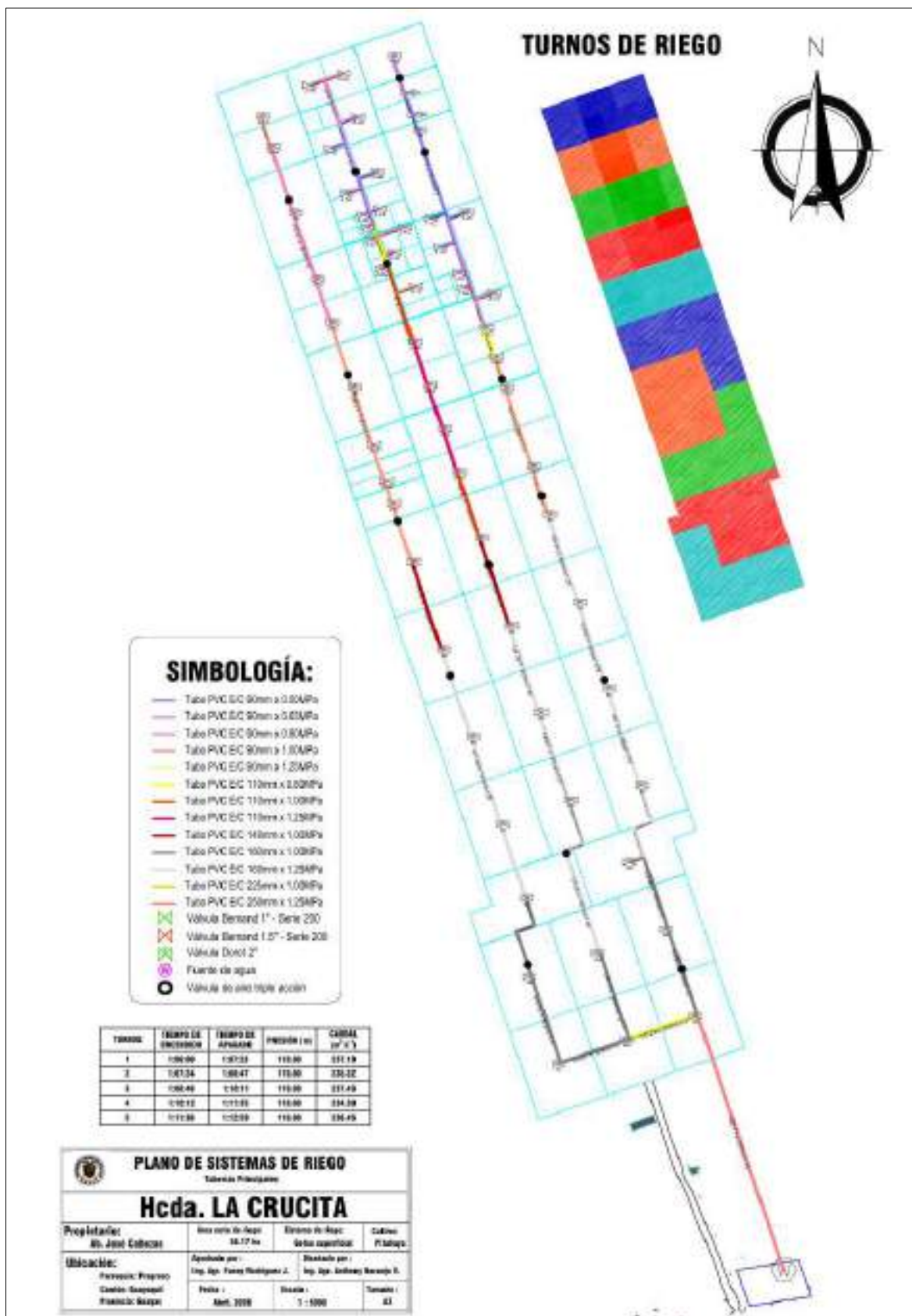
**Diseño de distribuidoras y laterales – goteo superficial**



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 50.

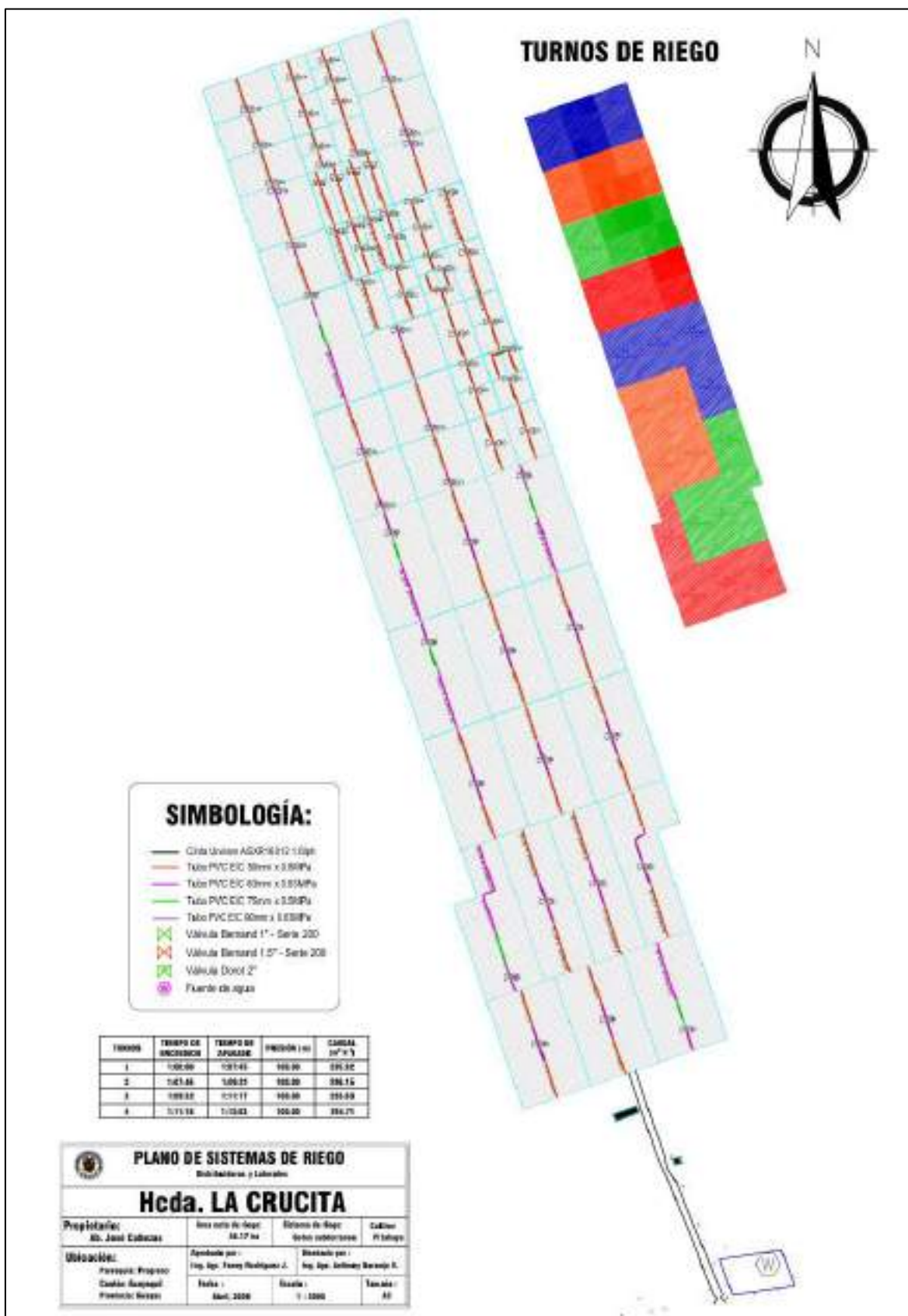
**Diseño de tuberías principales – goteo superficial**



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 51.

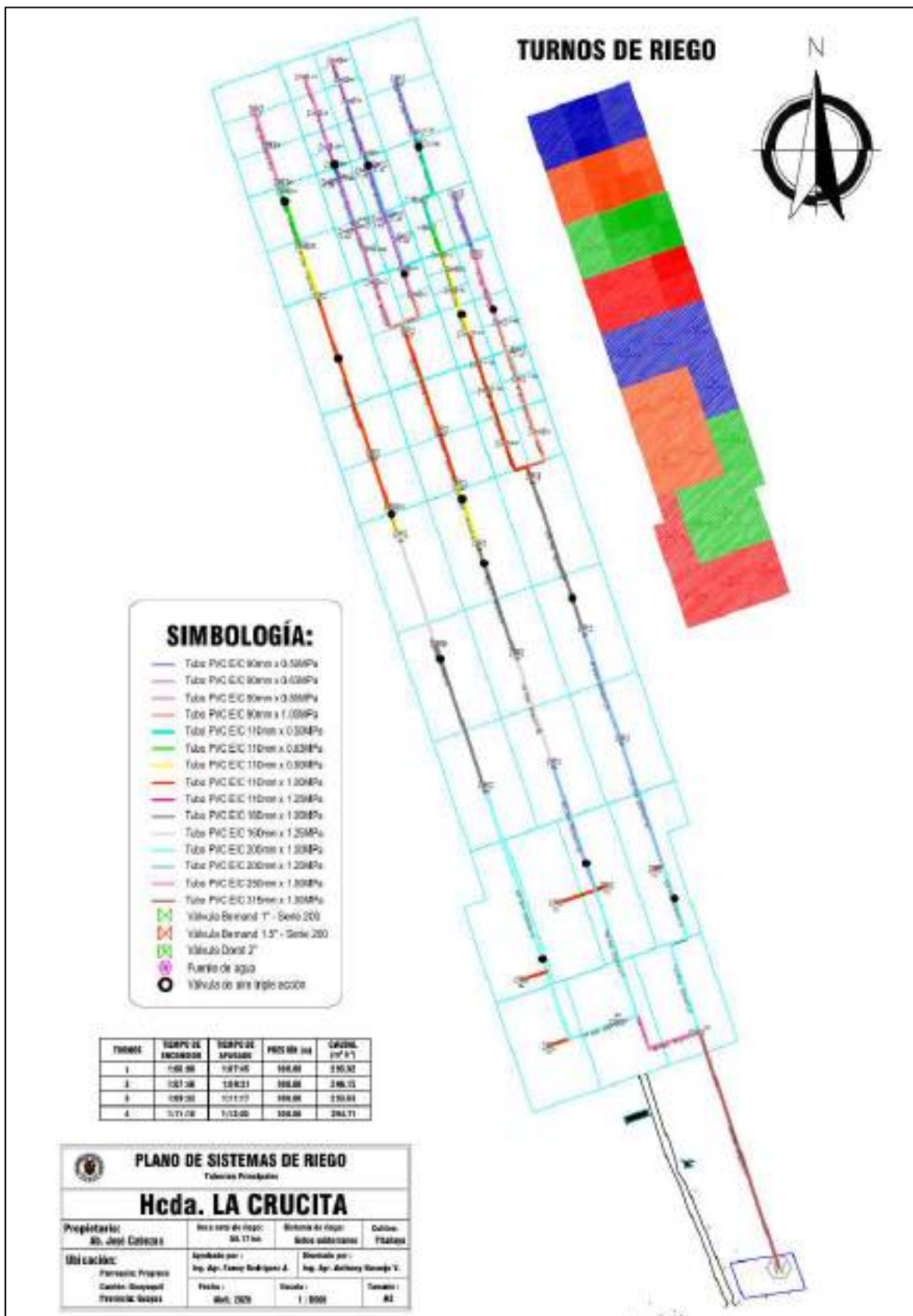
**Diseño de distribuidoras y laterales – goteo subterráneo**



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 52.

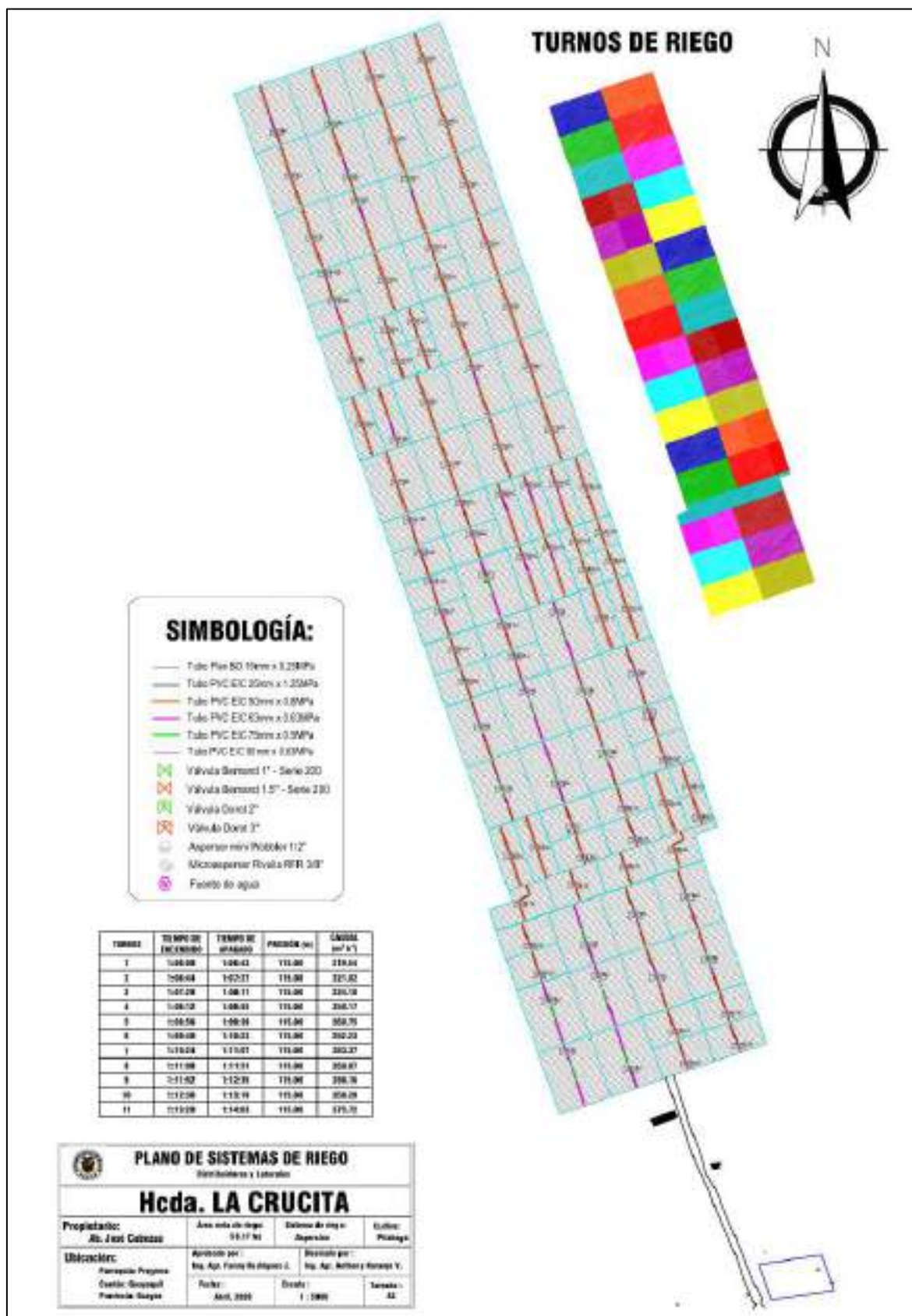
**Diseño de tuberías principales – goteo subterráneo**



Elaborado por: El Autor, 2026

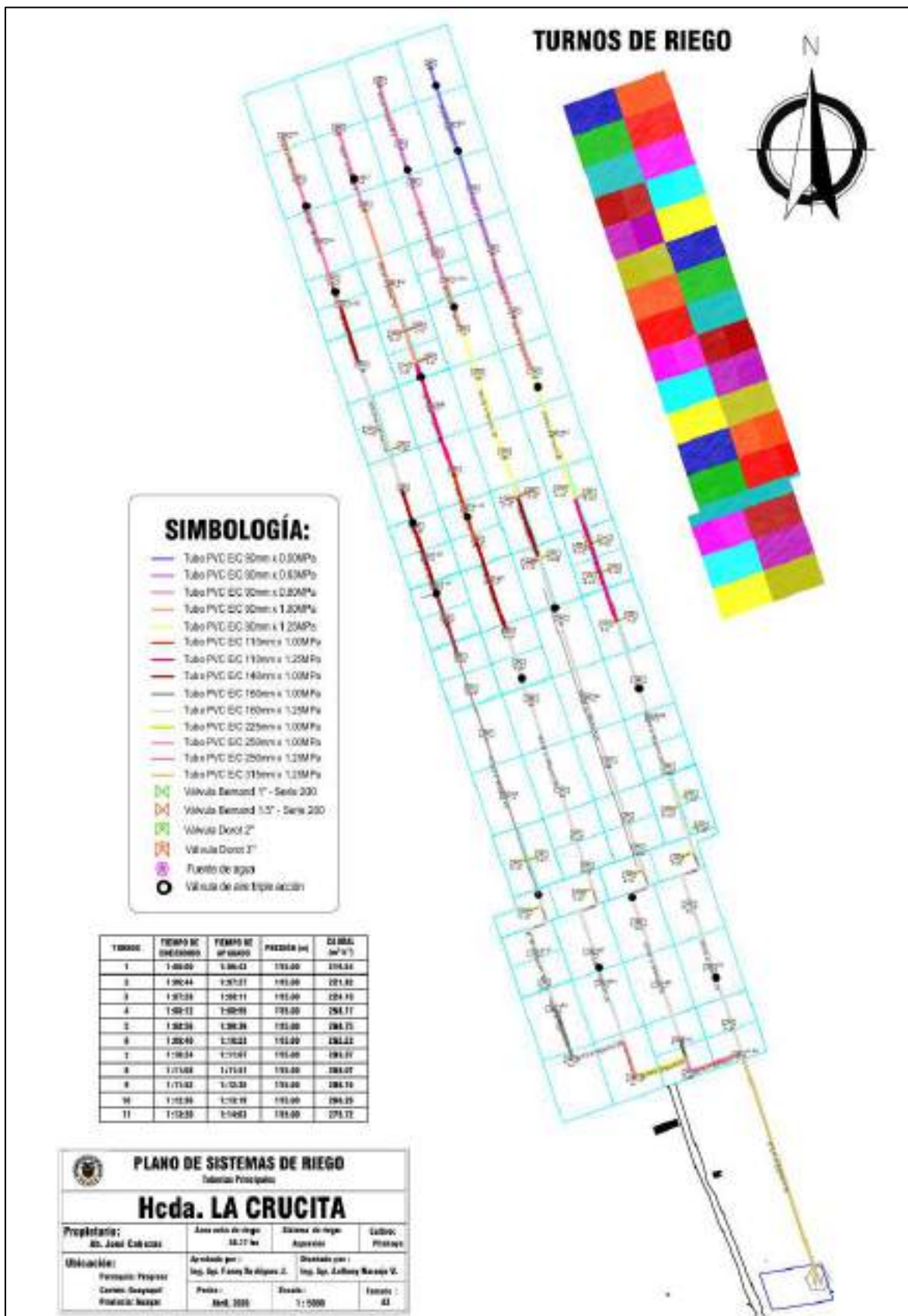
Figura 53.

**Diseño de distribuidoras y laterales – aspersión**



Elaborado por: El Autor, 2026

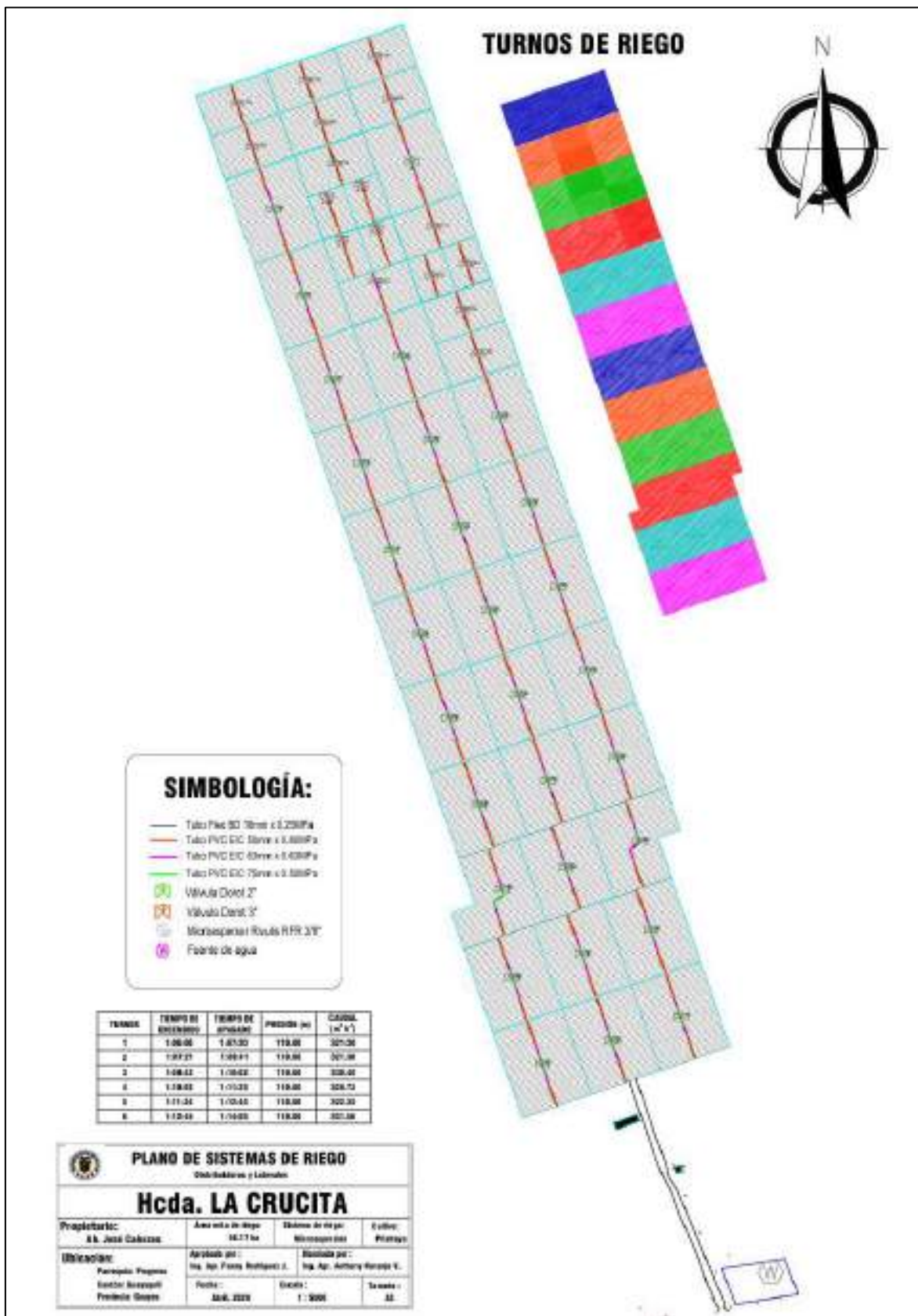
Figura 54.  
Diseño de tuberías principales – aspersión



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 55.

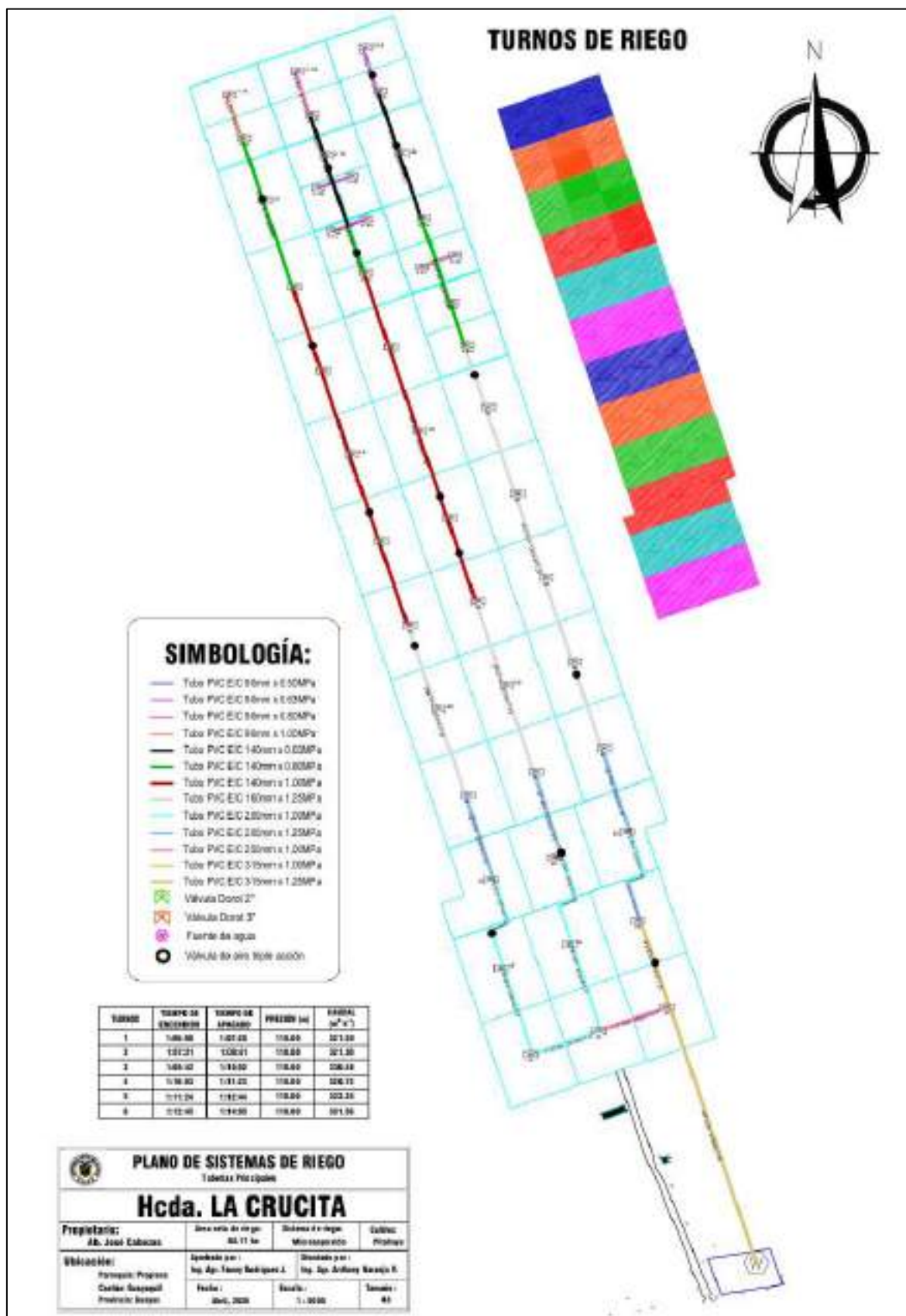
**Diseño de distribuidoras y laterales – microaspersión**



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 56.

**Diseño de tuberías principales – microaspersión**



Elaborado por: El Autor, 2026