

MODELO ECONÓMICO Y PLANEACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA  
CULTIVOS DE MARACUYÁ Y PIÑA EN NIMAIMA, CUNDINAMARCA

TRABAJO DE GRADO

MARIA ALEJANDRA BOHORQUEZ ENCISO

DAVID RICARDO SARMIENTO GUZMAN

MEILY ESTEPHANIE ACERO CABEZAS

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ

2025

DISEÑO, MODELO ECONÓMICO Y PLANEACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO  
PARA CULTIVOS DE MARACUYÁ Y PIÑA EN NIMAIMA, CUNDINAMARCA

MARIA ALEJANDRA BOHORQUEZ ENCISO - 430066835

DAVID RICARDO SARMIENTO GUZMAN - 430068687

MEILY ESTEPHANIE ACERO CABEZAS - 430065111

ESPELETA DIAZ, JIMENA DEL PILAR – DIRECTORA

FELIPE SANTAMARIA ALZATE – CODIRECTOR

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ

2025

## Tabla de contenido

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN.....                                                           | 7  |
| GLOSARIO .....                                                         | 9  |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                                  | 11 |
| 2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....                                         | 13 |
| 3. ANTECEDENTES.....                                                   | 14 |
| 4. FORMULACIÓN DE PROBLEMA .....                                       | 18 |
| 5. JUSTIFICACIÓN .....                                                 | 23 |
| 6. OBJETIVOS .....                                                     | 25 |
| 6.1. Objetivo general .....                                            | 25 |
| 6.2. Objetivos específicos.....                                        | 25 |
| 7. MARCO TEÓRICO .....                                                 | 26 |
| 7.1. El riego agrícola y su importancia.....                           | 26 |
| 7.2. Sistema de riego por goteo .....                                  | 26 |
| 7.3. Componentes sistema de riego por goteo .....                      | 26 |
| 7.4. Dimensionamiento hidráulico .....                                 | 28 |
| 8. METODOLOGÍA.....                                                    | 31 |
| 8.1. Caracterización del lugar .....                                   | 31 |
| 8.1.1 Recolección y análisis de información .....                      | 31 |
| 8.2. Diseño hidráulicooperativo y s-elección técnica del sistema ..... | 36 |
| 8.2.1 Estimación de la demanda hídrica de los cultivos.....            | 36 |
| 8.2.2. Dimensionamiento hidráulico del sistema.....                    | 40 |
| 8.2.3 Diseño en software (Anexo 1 y 2).....                            | 51 |
| 8.2.4 Selección de materiales .....                                    | 52 |
| 8.3 Modelo Económico .....                                             | 54 |
| 8.3.1 APU y presupuesto para sistema de riego (Anexo 3).....           | 55 |
| 8.3.2 Análisis de inversión (Anexo 4) .....                            | 56 |
| 8.3.3 Análisis de viabilidad (Anexo 4).....                            | 59 |

|       |                                    |    |
|-------|------------------------------------|----|
| 8.4   | Análisis de replicabilidad .....   | 64 |
| 9.    | RESULTADOS.....                    | 65 |
| 9.1   | Caracterización territorio.....    | 65 |
| 9.2   | Diseño hidráulico.....             | 68 |
| 9.3   | Modelo económico .....             | 71 |
| 9.3.1 | Resultados APU y presupuesto ..... | 71 |
| 9.3.2 | Resultados inversión.....          | 72 |
| 9.3.3 | Resultados Viabilidad.....         | 74 |
| 9.3.4 | Resultados Costeo ABC .....        | 76 |
| 9.4   | Análisis de replicabilidad .....   | 77 |
| 10.   | CONCLUSIONES.....                  | 80 |
| 11.   | RECOMENDACIONES .....              | 82 |
| 12.   | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....    | 83 |

## **Lista de Ilustraciones**

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Ubicación del municipio de Nimaima en Cundinamarca, Fuente: Elaborado por Triviantes.....                                                                                                                                                                  | 18 |
| Ilustración 2. Ubicación de la Vereda Loma Larga de Nimaima, Fuente: Adaptado de Zonificación de amenaza por incendios forestales en Nimaima Cundinamarca (p.13 , Figura 2), por D. V. Olaya & D.Y. R Guzmán, 2020, (Tesis de pregrado, Universidad de Cundinamarca)..... | 19 |
| Ilustración 3. Localización geográfica vereda Loma Larga, fuente: Google Earth.....                                                                                                                                                                                       | 21 |
| Ilustración 4. Localización geográfica Finca El Encanto, fuente: Google Maps .....                                                                                                                                                                                        | 21 |
| Ilustración 5. Finca el encanto Nimaima Cundinamarca (Autoría propia).....                                                                                                                                                                                                | 22 |
| Ilustración 6. Nacimiento de agua finca El Encanto (Autoría propia) .....                                                                                                                                                                                                 | 22 |
| Ilustración 7. Distribución general del cultivo (Autoría propia) .....                                                                                                                                                                                                    | 70 |
| Ilustración 8. Perfil Alturas y dimensión de tanque (Autoría propia) .....                                                                                                                                                                                                | 70 |
| Ilustración 9. Perfil tramo de succión (Autoría propia).....                                                                                                                                                                                                              | 71 |

## **Lista de Gráficas**

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 1. Humedad Nimaima, Cundinamarca .....                              | 34 |
| Gráfica 2.temperatura Nimaima Cundinamarca.....                             | 66 |
| Gráfica 3. Precipitación Nimaima Cundinamarca.....                          | 66 |
| Gráfica 4.Distribución De Inversión Por Bloque Y Año (Autoría propia) ..... | 73 |
| Gráfica 5.Evolución Total de Inversión Por Año (Autoría propia).....        | 74 |
| Gráfica 6. Evolución del Flujo Acumulado (Autoría propia).....              | 75 |
| Gráfica 7.Evolución del Flujo de Caja Neto Anual (autoría propia).....      | 76 |

## **Lista de Tablas**

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Temperatura de Nimaima, Cundinamarca IDEAM.....                         | 32 |
| Tabla 2. Precipitación Nimaima, Cundinamarca (IDEAM) .....                       | 33 |
| Tabla 3. Humedad relativa Nimaima, Cundimarca (IDEAM) .....                      | 34 |
| Tabla 4. ETo estimada – mensual (mm/día).....                                    | 37 |
| Tabla 5.Valores de Kc para maracuyá.....                                         | 38 |
| Tabla 6.Valores de Kc para piña. ....                                            | 38 |
| Tabla 7.Valores de Kc para piña .....                                            | 39 |
| Tabla 8. Valores por diámetro FLAMANT.....                                       | 46 |
| Tabla 9. Capítulos y actividades APU y presupuesto (Autoría propia propia) ..... | 56 |
| Tabla 10. Capítulos y actividades de inversión .....                             | 58 |
| Tabla 11. Histórico de precios promedio maracuyá (DANE) .....                    | 60 |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 12. proyección de precios maracuyá (Fuente: Propia) .....             | 61 |
| Tabla 13. histórico de precios promedio Piña (DANE).....                    | 61 |
| Tabla 14. Proyección de precios Piña (Fuente: propia).....                  | 61 |
| Tabla 15. Distribución de actividades para costeo ABC .....                 | 63 |
| Tabla 16. Fuentes Hídricas Nimaima Cundinamarca (Autoría propia).....       | 67 |
| Tabla 17. Especificaciones de distribución (Autoría propia) .....           | 68 |
| Tabla 18. Requerimientos Hidráulicos (Autoría propia).....                  | 68 |
| Tabla 19. Especificación de instalaciones (Autoría propia) .....            | 69 |
| Tabla 20. Presupuesto sistema de rego (Autoría propia).....                 | 72 |
| Tabla 21. Flujo de caja anual y acumulado (2026–2029) Autoría propia .....  | 73 |
| Tabla 22. Flujo de caja anual y acumulado (2026–2029)(Autoría propia) ..... | 75 |
| Tabla 23. Costo de producción por kg(Autoría propia).....                   | 77 |
| Tabla 24. Ganancia por Kg (Autoría propia).....                             | 77 |

## RESUMEN

En Colombia, la agricultura continúa siendo una actividad económica fundamental, especialmente en las zonas rurales donde muchas familias dependen de ella para subsistir. En el cuarto trimestre de 2024, los sectores de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca lideraron el crecimiento económico, con un incremento del 6,5%, superando el crecimiento del PIB del 2,3% en 4,2 puntos porcentuales (Finance Colombia, 2024).

En Cundinamarca, durante 2023, se obtuvo un total aproximado de 2.930.431 toneladas de productos agrícolas ( Gobernación de Cundinamarca, 2023). Siendo una de las principales regiones con mayor actividad agropecuaria y su cercanía a Bogotá, permite un aporte al empleo rural, según la gobernación de Cundinamarca (2023), se generaron aproximadamente 960.000 empleos directos.

El municipio de Nimaima es una zona privilegiada para el desarrollo agrícola, con una altitud 1,200 m.s.n.m, temperaturas anuales entre los 20 y 26°C y su pluviometría es de 1.000 a 1.700 mm anuales, lo que permite una gran variedad de cultivos tropicales y subtropicales. (IGAC, 2020). Sin embargo, no cuenta con un sistema hidráulico que permita un riego diferente al convencional, sea por gravedad o directamente de las lluvias, lo que no garantiza un suministro constante ni controlado del agua para los cultivos.

Por tanto, la propuesta de este trabajo plantea el diseño de un sistema tecnificado que, mediante el uso del riego por goteo, permite optimizar el uso del agua, aumente la productividad y asegurar la sostenibilidad del cultivo, también se articula con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 (ODS 6) de la agenda 2030, que promueve el acceso equitativo y el uso responsable del agua. Asimismo, se espera que esta propuesta se convierta en un modelo replicable en otras zonas rurales, fortaleciendo la seguridad alimentaria, mejorando la calidad de vida en el campo y contribuyendo a la conservación de los recursos naturales.

*Palabras claves: Riego por goteo; sostenibilidad agrícola; maracuyá; piña; eficiencia hídrica; desarrollo rural; agricultura tecnificada; ODS 6; Nimaima; recursos naturales.*

## ABSTRACT

In Colombia, agriculture continues to be a fundamental economic activity, especially in rural areas where many families rely on it for their livelihood. In the fourth quarter of 2024, the sectors of agriculture, livestock, hunting, forestry, and fishing led economic growth, with an increase of 6.5%, surpassing the national GDP growth of 2.3% by 4.2 percentage points (Finance Colombia, 2024).

In Cundinamarca, during 2023, approximately 2,930,431 tons of agricultural products were produced (Gubernation de Cundinamarca, 2023). As one of the main regions with significant agricultural activity and its proximity to Bogotá, it plays an important role in rural employment. According to the Gubernation de Cundinamarca (2023), the agricultural sector generated approximately 960,000 direct jobs.

The municipality of Nimaima is considered a privileged area for agricultural development, with an average altitude of 1,200 meters above sea level, annual temperatures ranging between 20 and 26°C, and rainfall between 1,000 and 1,700 mm per year (IGAC, 2020). These conditions allow for a wide variety of tropical and subtropical crops. However, the area lacks a hydraulic system that enables irrigation beyond conventional methods such as gravity or direct rainfall, which does not guarantee a constant or controlled water supply for crops.

Therefore, this proposal aims to design a technified system that, through drip irrigation, optimizes water use, increases productivity, and ensures crop sustainability. It is also aligned with Sustainable Development Goal number 6 (SDG 6) of the 2030 Agenda, which promotes equitable access to and responsible use of water. Additionally, this proposal is expected to become a replicable model in other rural areas, strengthening food security, improving quality of life in the countryside, and contributing to the conservation of natural resources.

*Keywords: Drip irrigation; agricultural sustainability; passion fruit; pineapple; water efficiency; rural development; smart agriculture; SDG 6; Nimaima; natural resources.*

## GLOSARIO

- **Agricultura tecnificada:** Conjunto de prácticas agrícolas que incorporan tecnologías modernas (como sistemas de riego, sensores, drones, etc.) para aumentar la eficiencia en el uso de recursos y mejorar la productividad.
- **Bulbo húmedo:** Área del suelo que se mantiene húmeda debido a la acción del sistema de riego por goteo. Esta zona concentra el mayor desarrollo radicular de las plantas al recibir agua y nutrientes de manera localizada.
- **Caudal:** Cantidad de agua que circula por una tubería o canal en un tiempo determinado. Es una variable fundamental para el diseño hidráulico de un sistema de riego.
- **Escorrentía:** Movimiento superficial del agua, generalmente como resultado de la lluvia o del riego excesivo. Puede generar erosión del suelo y pérdida del recurso hídrico si no se controla adecuadamente.
- **Evapotranspiración:** Suma de la evaporación del agua desde el suelo y la transpiración de las plantas. Determina la cantidad de agua que debe reponerse mediante el riego.
- **Modelo económico:** Representación analítica que permite proyectar y evaluar los costos, beneficios y rentabilidad de un sistema de riego, incluyendo inversión inicial, costos operativos y retorno financiero.
- **ODS 6 (Objetivo de Desarrollo Sostenible 6):** Objetivo global propuesto por la ONU que busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
- **Passiflora edulis:** Nombre científico del maracuyá, una fruta tropical ampliamente cultivada en Colombia y reconocida por su valor nutricional y comercial.
- **Sistema de riego por goteo:** Tecnología de irrigación que permite aplicar agua de forma precisa, gota a gota, directamente en la zona radicular de las plantas. Favorece un uso eficiente del agua y reduce pérdidas.

- **Valor Presente Neto (VPN):** Indicador financiero que permite calcular el valor actual de los beneficios futuros de un proyecto, descontando la inversión inicial.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Medida del rendimiento porcentual esperado de una inversión, útil para evaluar si un proyecto es financieramente viable.
- **Topografía:** Estudio del relieve de un terreno. En proyectos de riego, es fundamental diseñar adecuadamente la red de tuberías y garantizar la presión del sistema.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La agricultura en Colombia, representa una de las actividades económicas con mejores resultados, En 2024 el PIB del país tuvo un crecimiento del 1,7%, la agricultura presentó un resultado del (8,1%), lo que quiere decir que aportó cerca de 0,8 puntos porcentuales al PIB (El Espectador 2025). En muchas regiones del país, especialmente en zonas rurales como el municipio de Nimaima, Cundinamarca, los cultivos frutales no solo garantizan el sustento diario, sino que también generan oportunidades de desarrollo local y bienestar, en el año 2023, se obtuvo un total de 2.930.431 toneladas de productos agrícolas, lo que generó 960.000 empleos rurales ( Gobernación de Cundinamarca, 2023). Sin embargo, aunque el territorio cuenta con condiciones naturales ideales para el cultivo, como un clima cálido y suelos fértiles, la falta de infraestructura adecuada para el manejo del agua se ha convertido en una limitante constante para alcanzar buenos niveles de productividad y estabilidad agrícola.

Actualmente, muchos agricultores de la región dependen únicamente de la lluvia o del riego por gravedad, métodos tradicionales que, si bien han funcionado durante años, hoy resultan insuficientes frente a las exigencias del cambio climático y las dinámicas del mercado, sobre todo en las temporadas secas, que vienen siendo en los meses entre diciembre y marzo, y entre junio y agosto (Calendario de Colombia, 2025). Estos suelen afectar directamente el desarrollo de cultivos como la piña y el maracuyá, dos frutas con gran potencial comercial tanto a nivel nacional como internacional. Esta situación ha generado la necesidad urgente de buscar alternativas más eficientes para el uso del recurso hídrico, que permitan asegurar la producción sin poner en riesgo la sostenibilidad ambiental.

En respuesta a esta problemática, este trabajo de investigación planteó el diseño de un sistema de riego por goteo tecnificado, adaptado a las condiciones específicas de la finca El Encanto en la vereda Loma Larga, en Nimaima. Se trató de una propuesta que no solo buscó mejorar el rendimiento de los cultivos, sino también promover el uso racional del agua, reducir pérdidas innecesarias y fortalecer la resiliencia de los productores frente a los efectos del clima. Además, este sistema permite aplicar el agua de forma precisa en la raíz de las plantas, lo que mejora la absorción de nutrientes, evita enfermedades y favorece una producción más uniforme y de mejor calidad.

El desarrollo del proyecto se apoyó en una investigación con enfoque mixto, que integra tanto el análisis técnico y económico del sistema de riego como la observación directa del contexto local. A partir de esta base, se elaboró un modelo integral que contempla aspectos hidráulicos, operativos y financieros, con el objetivo de ofrecer una solución realista, viable y replicable. También se tuvo en cuenta la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 6, relacionado con la gestión eficiente y equitativa del agua.

Este trabajo no solo aporta una alternativa concreta para mejorar la agricultura en Nimaima, sino que también busca generar conocimiento aplicable a otros territorios con características similares. En última instancia, el propósito de esta investigación es que pueda servir de guía para implementar tecnologías sencillas, efectivas y sostenibles en el campo colombiano, donde el agua, bien administrada, puede ser la clave para sembrar un futuro más próspero.

## **2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

El presente proyecto, titulado “Modelo económico y planeación de un sistema de riego para cultivos de maracuyá y piña en Nimaima, Cundinamarca”, se enmarca en la línea de investigación Gestión económica para el desarrollo, dado que plantea una solución técnica orientada a mejorar la productividad agrícola mediante el uso eficiente de los recursos hídricos, al tiempo que incorpora un modelo económico sostenible que fortalece las capacidades productivas locales.

La propuesta no solo aborda el diseño del sistema de riego, sino que también integra análisis de costos, evaluación de retorno de inversión y planificación operativa, lo cual permite a los productores tomar decisiones fundamentadas desde el punto de vista técnico y económico. Esta articulación entre ingeniería y economía promueve un desarrollo rural más equitativo y resiliente, contribuyendo directamente a los objetivos de desarrollo territorial, seguridad alimentaria y dinamización de economías locales.

De esta manera, el proyecto se alinea con los principios de la línea de investigación al fomentar la aplicación del conocimiento técnico para generar soluciones económicamente viables que impacten positivamente el bienestar de las comunidades rurales.

### **3. ANTECEDENTES**

La agricultura es una de las actividades fundamentales para el desarrollo económico, social y territorial de Colombia. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021), este sector representa entre el 6 % y 8 % del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y genera cerca del 15 % del empleo del país, consolidándose como un motor clave de la economía rural y un pilar esencial en la garantía de la seguridad alimentaria.

Más allá de su impacto económico, la agricultura cumple también una función social y ambiental, ya que contribuye al sustento de millones de familias campesinas, al tiempo que debe asegurar el uso responsable de los recursos naturales.

No obstante, a pesar de su importancia estratégica, el sector agropecuario colombiano enfrenta múltiples desafíos. Entre ellos, la limitada infraestructura vial y de riego, el bajo nivel de tecnificación y la alta vulnerabilidad frente a fenómenos climáticos extremos, como sequías prolongadas o lluvias torrenciales (FAO, 2020; CEPAL, 2022). Esta situación repercute directamente en la productividad de los cultivos y evidencia la urgencia de implementar soluciones tecnológicas eficientes, sostenibles y adaptadas a las condiciones locales.

Uno de los principales retos del sector es la gestión adecuada del recurso hídrico. Aunque Colombia posee una de las mayores disponibilidades hídricas per cápita del mundo, esta se distribuye de manera desigual a lo largo del territorio y su aprovechamiento sigue siendo ineficiente. Según el IDEAM (2020), mientras ciertas regiones presentan excesos de precipitación, otras enfrentan escasez estacional severa. A pesar de ello, solo el 14 % de la superficie agrícola nacional dispone de sistemas de riego tecnificado, lo que implica que la mayoría de los cultivos dependen aún del riego por gravedad o de las lluvias, con bajos niveles de eficiencia y alto riesgo productivo (Ministerio de Agricultura, 2021; FAO, 2021).

Frente a este panorama, el riego por goteo se ha posicionado como una alternativa innovadora y eficaz para responder a los desafíos de la agricultura moderna. Este sistema permite aplicar agua de manera localizada, directamente sobre la zona radicular de la planta, con un control preciso del caudal, lo cual reduce significativamente las pérdidas por evaporación y escorrentía, mejora la absorción de nutrientes y permite realizar fertirrigación

de forma eficiente (FAO, 2020). Se estima que el riego por goteo puede alcanzar eficiencias de hasta el 95 % en el uso del agua (Sépulveda et al., s.f), además de formar bulbos húmedos en el suelo que favorecen el desarrollo radicular de los cultivos .

Particularmente en cultivos tropicales como el maracuyá (*Passiflora edulis*) y la piña (*Ananas comosus*), el uso de tecnologías de riego eficiente ha demostrado impactos positivos tanto en la productividad como en la calidad del fruto. El maracuyá, una fruta tropical con gran demanda nacional e internacional, requiere un suministro constante de agua para un adecuado desarrollo vegetativo, especialmente en fases críticas como la floración y la fructificación.

Según Restrepo y Hoyos (2018), este cultivo es especialmente sensible al estrés hídrico, lo cual puede afectar no solo el tamaño y calibre del fruto, sino también su contenido de sólidos solubles y el número de cosechas anuales (Álvarez, 2019).

De manera similar, la piña también exige condiciones hídricas óptimas para lograr buenos rendimientos. Aunque presenta cierta tolerancia a períodos secos cortos, estudios de Valencia, Camacho y Rivera (2017) indican que la implementación de sistemas de riego eficientes puede incrementar el rendimiento del cultivo hasta en un 30 %, mejorando variables como el contenido de azúcares y la uniformidad del fruto. Estos beneficios evidencian que el riego por goteo no solo es viable desde el punto de vista técnico, sino también desde una perspectiva productiva y económica.

En el departamento de Cundinamarca, estas dos frutas tienen una presencia relevante. Según el Ministerio de Agricultura (2021), el maracuyá cuenta con una superficie cultivada de 2.350,25 hectáreas y una participación del 1,29 % en la producción nacional, mientras que la piña se cultiva en aproximadamente 3.338,00 hectáreas, con un aporte del 0,99 % en la producción del país. Sin embargo, a pesar del potencial agroclimático del territorio, muchos agricultores de la región aún dependen de métodos tradicionales de riego o del régimen de lluvias, lo cual limita la productividad y sostenibilidad de estos cultivos.

Un caso representativo es el municipio de Nimaima, ubicado en el occidente de Cundinamarca, donde se desarrollará esta investigación. Esta zona presenta condiciones agroclimáticas favorables, con una altitud promedio de 1.200 m s. n. m., una temperatura

media anual de 24 °C y una precipitación cercana a los 1.760 mm (IDEAM, 2020). A pesar de ello, gran parte de los productores de la vereda Loma Larga continúan utilizando técnicas rudimentarias, sin acceso a tecnologías de riego eficiente. Esta situación ha impedido que cultivos como el maracuyá y la piña alcancen su máximo potencial productivo.

Frente a esta problemática, el presente proyecto propone el diseño de un sistema de riego por goteo ajustado a las condiciones físicas, climáticas y económicas del territorio, en la finca El Encanto en la vereda Loma Larga, en Nimaima. Se busca no solo aumentar el rendimiento y la calidad de los cultivos, sino también garantizar una gestión más racional y responsable del recurso hídrico. La implementación de este tipo de tecnología permitiría aprovechar mejor la disponibilidad de agua, disminuir el estrés hídrico en las plantas y reducir los costos asociados a la mano de obra y al uso ineficiente del agua.

En Colombia, múltiples investigaciones recientes respaldan la viabilidad de los sistemas de riego tecnificado bajo condiciones agroecológicas similares a las de Nimaima. Por ejemplo, un estudio de diseño de riego por goteo en cultivos de papa en Toca, Boyacá, demostró que esta tecnología permite lograr un ahorro de agua superior al 60 % y evidencia una clara viabilidad técnica y económica en el contexto local (Giraldo Vargas, 2025). En la región norte del país, un análisis económico aplicado a plantaciones de palma aceitera concluyó que los sistemas de riego presurizado, como el riego por aspersión, son rentables cuando los flujos de inversión y operación se estructuran de forma adecuada, presentando indicadores favorables de recuperación de la inversión (Álvarez et al., 2018). Finalmente, un estudio de factibilidad técnica y económica realizado en Barrancabermeja (Santander) para un cultivo de limón identificó que la implementación de riego por goteo resulta financieramente viable, con reducciones significativas en consumo hídrico y costos operativos (Castelblanco et al., 2021).

Estos antecedentes refuerzan que, en el contexto colombiano, la adopción de tecnologías de riego por goteo es técnica y económicamente factible, especialmente en zonas con alta variabilidad climática y disponibilidad limitada de agua, como ocurre en Nimaima.

En efecto, una adecuada evaluación financiera que incluya indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el análisis de flujo de caja proyectado, resulta indispensable para determinar la sostenibilidad del proyecto (Silva &

Gómez, 2019). Estos elementos no solo permiten facilitar la toma de decisiones para los productores, sino que también pueden respaldar el acceso a créditos o apoyos institucionales dirigidos a fomentar la tecnificación del campo colombiano.

En términos de sostenibilidad, la adopción de sistemas de riego por goteo se alinea directamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 (ODS 6), el cual busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (Naciones Unidas, 2022). En zonas rurales como Nimaima, donde el acceso equitativo al agua representa un desafío, esta tecnología no solo contribuiría a mejorar la productividad, sino también a fortalecer la resiliencia de los ecosistemas y la calidad de vida de las comunidades agrícolas (CEPAL, 2022).

Países como Israel, México y Perú han liderado la implementación del riego por goteo en condiciones de escasez hídrica y topografías complejas, demostrando que es posible adaptar esta tecnología a distintos contextos rurales con excelentes resultados (FAO, 2017). Colombia, aunque todavía enfrenta barreras como la falta de formación técnica, el alto costo inicial de instalación y la limitada cobertura institucional, está avanzando hacia una agricultura más moderna y eficiente.

El desafío es fomentar una transición gradual pero sostenida hacia sistemas productivos que aprovechen de manera óptima los recursos disponibles, sin comprometer la sostenibilidad ambiental ni el bienestar de las comunidades rurales.

En conclusión, el diseño e implementación de sistemas de riego por goteo en cultivos como el maracuyá y la piña no solo representa una solución viable frente a los desafíos productivos y climáticos de la agricultura colombiana, sino que también constituye una apuesta por un modelo más sostenible, justo y eficiente. Este proyecto busca demostrar que con voluntad técnica, planificación y apoyo institucional, es posible transformar la realidad agrícola de regiones como Nimaima y contribuir al desarrollo rural de manera integral.

#### 4. FORMULACIÓN DE PROBLEMA

El municipio de Nimaima, ubicado en la región del Gualivá (Cundinamarca), cuenta con condiciones agroclimáticas altamente favorables para el desarrollo de cultivos frutales como la piña y el maracuyá. En las figuras 1 y 2 se muestra la localización del área de estudio.

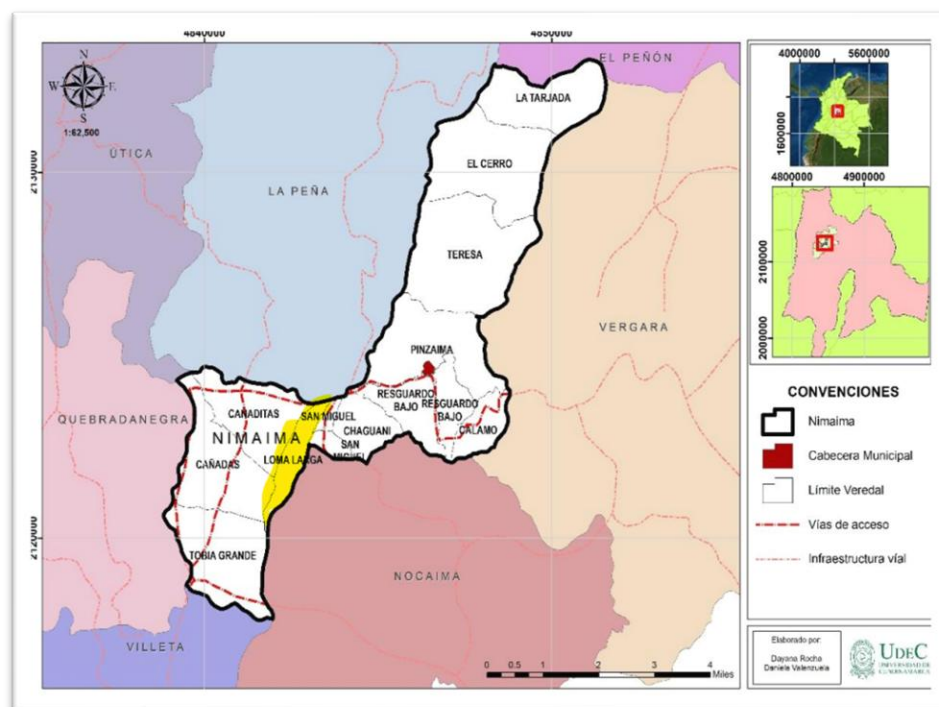
Su altitud promedio de 1.200 msnm, temperatura media anual de 24 °C y una precipitación de aproximadamente 1.760 mm al año (IDEAM, 2020) lo posicionan como un territorio con alto potencial agrícola. Sin embargo, a pesar de estas condiciones, la productividad del sector se ve afectada por deficiencias estructurales en la gestión del recurso hídrico.



*Ilustración 1. Ubicación del municipio de Nimaima en Cundinamarca, Fuente: Elaborado por Triviantes.*

Actualmente, en la vereda Loma Larga, así como en otras zonas rurales del municipio de Nimaima, Cundinamarca, la agricultura se desarrolla bajo condiciones de alta vulnerabilidad

hídrica, esto se debe al cambio climático bimodal que presenta la región. Los agricultores de la región dependen, en su mayoría, del agua lluvia o de métodos tradicionales como el riego por gravedad, los cuales presentan importantes limitaciones en términos de eficiencia, control y sostenibilidad. Estas prácticas, si bien son de bajo costo inicial, no permiten una distribución uniforme ni oportuna del recurso hídrico a lo largo del ciclo productivo de los cultivos, lo cual incide directamente en la calidad y productividad de los mismos.



*Ilustración 2. Ubicación de la Vereda Loma Larga de Nimaima, Fuente: Adaptado de Zonificación de amenaza por incendios forestales en Nimaima Cundinamarca (p.13 , Figura 2), por D. V. Olaya & D.Y. R Guzmán, 2020, (Tesis de pregrado, Universidad de Cundinamarca)*

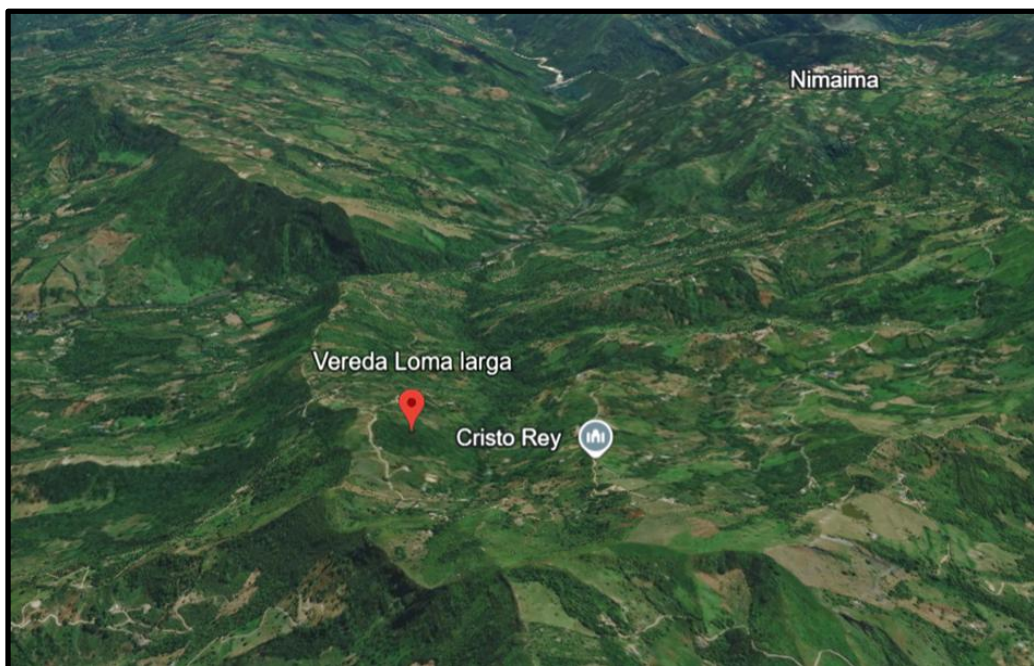
La carencia de sistemas de riego tecnificado en la región ha generado múltiples problemáticas técnicas, y productivas. En temporadas de sequía, los cultivos enfrentan estrés hídrico prolongado, mientras que, en periodos de lluvias intensas, los suelos saturados favorecen la aparición de enfermedades radicales y fúngicas que afectan gravemente la salud vegetal y el rendimiento por hectárea.

Desde la perspectiva de la ingeniería civil, el diseño y la implementación de un sistema de riego tecnificado representa una solución integral que no solo optimiza el uso del agua mediante tecnologías adaptadas a las condiciones topográficas y climáticas de la región, sino que también abre la puerta al desarrollo agrícola sostenible y planificado. Actualmente, los cultivos de maracuyá y piña en la zona están muy limitados a unas pocas plantas sembradas en patios o pequeñas áreas cercanas a las viviendas, destinadas únicamente al consumo personal de las familias que los cultivan. No existe una producción organizada ni a escala suficiente que permita su comercialización formal.

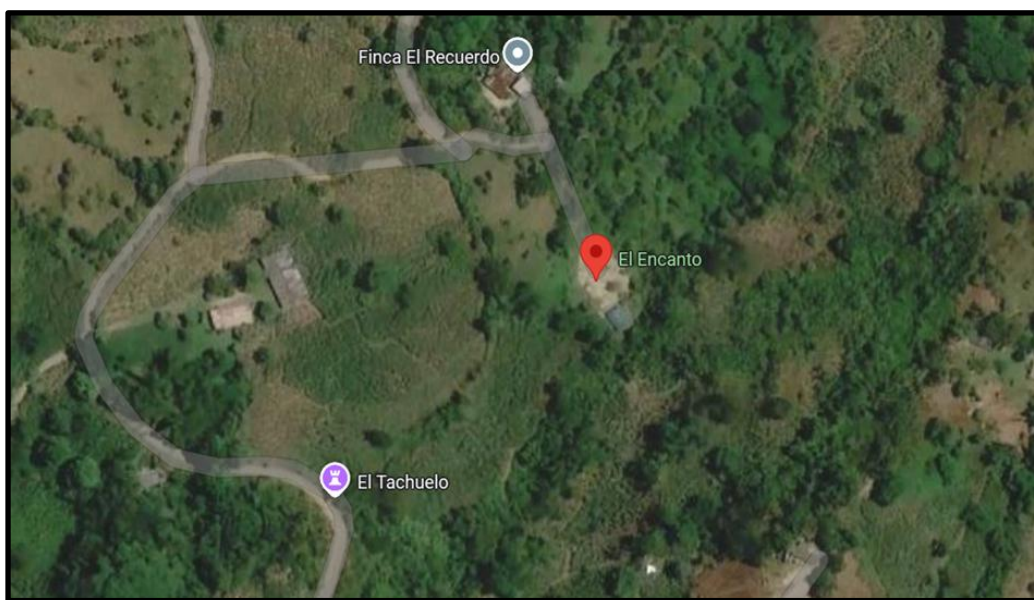
La consolidación de un sistema de riego tecnificado para estos cultivos no sólo respondería a una necesidad agronómica, sino que tendría un impacto directo en el desarrollo económico de la región. La expansión productiva permitiría transitar de una economía de subsistencia a una de carácter comercial, generando empleo rural, encadenamientos productivos, y posibilidades de acceso a mercados regionales y nacionales.

Los cultivos de piña y maracuyá, además de ser sensibles a las fluctuaciones hídricas, tienen una creciente importancia comercial tanto a nivel nacional como internacional. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019, 2021), en Colombia se han registrado más de 32.000 hectáreas sembradas en piña y más de 227.000 hectáreas de maracuyá, con exportaciones significativas. No obstante, estos cultivos requieren un suministro regular y controlado de agua para alcanzar niveles óptimos de desarrollo agronómico, lo cual actualmente no se garantiza en las condiciones de riego utilizadas en Nimaima.

Frente a este panorama, surge la necesidad de formular una solución técnica que permita mejorar la eficiencia del uso del agua y reducir los efectos negativos del riego deficiente en los cultivos de la finca El Encanto en la vereda Loma Larga, en Nimaima y así mismo los campesinos puedan ampliar la variedad de cultivos en la región. Una alternativa viable es el diseño e implementación de un sistema de riego por goteo, ajustado a las condiciones climáticas, topográficas y productivas de la región.



*Ilustración 3. Localización geográfica vereda Loma Larga, fuente: Google Earth*



*Ilustración 4. Localización geográfica Finca El Encanto, fuente: Google Maps*



*Ilustración 5. Finca el encanto Nimaima Cundinamarca (Autoría propia)*



*Ilustración 6. Nacimiento de agua finca El Encanto (Autoría propia)*

En este contexto, la presente investigación se plantea a partir del siguiente interrogante:

¿Cómo puede la implementación de un sistema de riego por goteo mejorar la eficiencia hídrica, aumentar la productividad agrícola y contribuir a la sostenibilidad de los cultivos de piña y maracuyá en la vereda Loma Larga, municipio de Nimaima, Cundinamarca?

## 5. JUSTIFICACIÓN

El agua constituye un insumo esencial para el desarrollo de la actividad agrícola, especialmente en regiones rurales donde esta actividad es la principal fuente de sustento económico y seguridad alimentaria. Garantizar el acceso eficiente al recurso hídrico no solo incide directamente en la productividad de los cultivos, sino que también determina la viabilidad de las prácticas agrícolas frente a escenarios de variabilidad climática y escasez hídrica.

El municipio de Nimaima, Cundinamarca, presenta condiciones agroclimáticas favorables para el cultivo de especies frutales como la piña (*Ananas comosus*) y el maracuyá (*Passiflora edulis*), gracias a su temperatura promedio de 24°C y una pluviometría cercana a los 1.760 mm anuales (IDEAM, 2020).

No obstante, gran parte de los agricultores locales aún emplean métodos de riego tradicionales, como el riego por surcos o el uso directo de agua por gravedad. Estos sistemas, además de ser ineficientes, incrementan el desperdicio del recurso, elevan los costos operativos y limitan la sostenibilidad de la producción. Ante este panorama, la implementación de un sistema de riego por goteo se presenta como una alternativa técnica pertinente, cuyo objetivo principal es optimizar el uso del agua, aplicándola de manera controlada, localizada y en las cantidades precisas requeridas por los cultivos.

Este tipo de sistema ha demostrado su eficacia en la reducción de pérdidas por evaporación, en el incremento de la productividad agrícola y en la mejora de la calidad de los productos cosechados (FAO, 2021).

Este proyecto tiene como propósito diseñar, planificar y evaluar económicamente un sistema de riego por goteo adaptado a las características geográficas, edafológicas y climáticas del municipio de Nimaima. A través de esta propuesta, se busca demostrar no solo la viabilidad técnica del sistema, sino también su rentabilidad económica, mediante el ahorro en consumo de agua, la disminución de costos en mano de obra, aumento en la producción y mejorar la calidad en los futos generando mejores ganancias para los agricultores.

La comercialización de cultivos como la maracuyá y la piña representa una oportunidad estratégica para diversificar la producción agrícola local, dinamizar la economía rural y

aprovechar el potencial agroclimático del territorio. Estos productos tienen una alta demanda tanto en el mercado nacional como internacional, lo que los convierte en alternativas rentables frente a cultivos tradicionales de bajo margen.

Además, su desarrollo incentivaría la organización comunitaria, la generación de empleo rural, el fortalecimiento de cadenas de valor y el aumento del ingreso familiar. Apostar por estos cultivos no solo responde a criterios técnicos y económicos, sino que también promueve la sostenibilidad productiva y el arraigo de las comunidades al territorio.

Adicionalmente, esta iniciativa se alinea directamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6, el cual busca "garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible" en todos los sectores, incluyendo la agricultura (Naciones Unidas, 2015). El enfoque de este proyecto contribuye al cumplimiento de dicha meta al fomentar prácticas agrícolas más eficientes, resilientes y responsables con el uso del recurso hídrico.

En consecuencia, la puesta en marcha de este sistema de riego por goteo representa una estrategia clave para fortalecer la sostenibilidad agrícola en Nimaima, mejorar la calidad de vida de los productores rurales y enfrentar con mayor capacidad los retos ambientales actuales y futuros. La transferencia de esta tecnología también puede servir como modelo replicable en otras zonas del país con características similares, aportando al desarrollo territorial sostenible y al cumplimiento de los compromisos ambientales asumidos por Colombia.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1. Objetivo general**

Diseñar un modelo técnico y económico integral para un sistema de riego por goteo tecnificado en los cultivos de maracuyá y piña en la vereda Loma Larga, ubicada en el municipio de Nimaima, Cundinamarca, con el fin de mejorar la eficiencia en el uso del agua, incrementar la productividad agrícola local y evaluar su viabilidad económica.

### **6.2. Objetivos específicos**

1. Evaluar y caracterizar las condiciones agroclimáticas, hidrológicas y productivas de la vereda Nimaima, integrando el análisis de los requerimientos hídricos de los cultivos de piña y maracuyá con la estimación de costos, beneficios y estrategias de gestión necesarias para la planificación, implementación y sostenibilidad económica del sistema de riego propuesto.
2. Identificar y seleccionar los componentes técnicos y realizar un modelo hidráulico-operativo del sistema de riego que permita optimizar el uso del recurso hídrico, garantizando una distribución eficiente y homogénea del agua para los cultivos de maracuyá y piña.
3. Elaborar un modelo económico detallado que contemple los costos de inversión, operación, mantenimiento y retorno económico esperado, evaluando además la escalabilidad y replicabilidad del sistema para otras unidades productivas con características similares.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. El riego agrícola y su importancia**

El riego es una técnica que permite suplir las necesidades hídricas de los cultivos cuando las precipitaciones naturales no son suficientes o adecuadas. Según FAO (2019), el riego agrícola representa cerca del 70% del uso mundial de agua dulce, siendo fundamental para la seguridad alimentaria, la productividad agrícola y el desarrollo rural. La implementación de un sistema de riego tecnificado mejora el rendimiento de los cultivos, optimiza el uso del recurso hídrico y permite mitigar los efectos del cambio climático sobre la agricultura. En zonas con estaciones secas prolongadas, como Nimaima, Cundinamarca, el riego es una herramienta clave para garantizar la producción continua de cultivos como el maracuyá (*Passiflora edulis*) y la piña (*Ananas comosus*).

### **7.2. Sistema de riego por goteo**

El sistema de riego por goteo es una técnica de irrigación localizada que suministra agua de forma lenta y continua directamente en la zona radicular de las plantas, a través de una red de tuberías, mangueras y emisores llamados *goteros*. Este sistema permite aplicar pequeñas cantidades de agua de manera precisa, reduciendo al mínimo las pérdidas por evaporación, escorrentía o percolación profunda.

Este sistema es especialmente recomendado para zonas con limitaciones hídricas o suelos con baja capacidad de retención, y se adapta muy bien a cultivos frutales, hortalizas, ornamentales y de alto valor económico, como el maracuyá y la piña.

### **7.3. Componentes sistema de riego por goteo**

Fuente de agua: la fuente de agua es el punto inicial del sistema y su selección depende de la disponibilidad, calidad y accesibilidad del recurso hídrico. Puede ser subterránea (pozos profundos), superficial (ríos, quebradas, embalses, nacimientos), de lluvia almacenada (tanques o aljibes), o incluso redes de acueducto.

Esta fuente debe tener la capacidad suficiente en volumen y presión para garantizar el caudal requerido por el cultivo, considerando las necesidades hídricas, los turnos de riego y las pérdidas por eficiencia. Además, es indispensable realizar análisis físico-químico del agua,

especialmente si se utiliza agua con alta carga de sólidos, sales o materia orgánica, pues influye en el tipo de filtrado y en la vida útil del sistema. Sistema de bombeo: El sistema de bombeo tiene la función de impulsar el agua desde la fuente hacia las tuberías del sistema, generando la presión adecuada para su distribución uniforme. Está compuesto por una bomba hidráulica (centrífuga, periférica o sumergible), acoplada a un motor (eléctrico o a combustión interna), y accesorios de succión y descarga. La selección del equipo de bombeo debe considerar:

- Altura manométrica total.
- Caudal requerido.
- Tipo de fuente de agua.
- Condiciones eléctricas o energéticas del sitio.

Red de conducción principal y secundaria: Estas tuberías son las encargadas de transportar el agua desde la bomba o cabezal hasta los sectores de riego. Son comúnmente fabricadas en PVC, polietileno de alta densidad (PEAD) o polietileno lineal de baja densidad (LDPE). Se instalan enterradas o superficiales, dependiendo de la topografía y el uso del terreno.

La red se divide en:

- Succión
- Bombeo
- Impulsión
- Tubería Principal: conecta tanque con cabezal de ramales

Estas redes deben diseñarse para soportar las presiones de trabajo y minimizar pérdidas por fricción.

- Laterales o líneas de riego: Son las tuberías delgadas de polietileno que recorren el cultivo a lo largo de cada hilera o surco, se pueden enterrar (riego subterráneo) o colocar sobre la superficie. En ellas se insertan los goteros o emisores que aplican el agua. Estas líneas deben diseñarse según:
- Longitud máxima sin pérdida significativa de presión.

- Distancia entre goteros.
- Uniformidad de distribución.

Goteros: Son dispositivos que liberan el agua en forma de gotas controladas. Representan el punto final del sistema, y su correcto funcionamiento garantiza la eficiencia. Se clasifican en:

- Integrados (tubing): el gotero viene incorporado en la línea de riego.
- Insertables (button drippers): se colocan individualmente en la tubería.
- Autocompensados: mantienen un caudal constante aun si hay variaciones de presión.

Se seleccionan según el caudal (L/h), la presión de trabajo y el tipo de cultivo.

#### 7.4. Dimensionamiento hidráulico

El dimensionamiento hidráulico es una etapa fundamental en el diseño de sistemas de riego por goteo, ya que asegura la distribución uniforme del agua en todos los puntos del cultivo, minimizando pérdidas de presión y garantizando la eficiencia del sistema. Esta fase comprende el cálculo de pérdidas por fricción en las tuberías, la correcta selección del diámetro de las líneas principales y secundarias, y la elección de la bomba adecuada según las condiciones del sitio.

**Pérdidas por fricción en tuberías:** Las pérdidas de presión en el sistema se deben principalmente a la fricción del agua al desplazarse por las tuberías. Estas pérdidas dependen de factores como la longitud de las tuberías, diámetro interno, tipo de material (PVC, polietileno, acero), rugosidad interna y el caudal que circula por cada tramo. Para su cálculo, se utilizan fórmulas empíricas y teóricas. Las más empleadas en el diseño de riego son

a. Formula de Hazen–Williams:

$$hf = 10.67 \left( \frac{L}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}} \right) Q^{1.85}$$

b. Fórmula de Darcy–Weisbach:

$$hf = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

c. Formula Flamant

$$J = 4C \frac{V^{1.75}}{D^{1.25}}$$

Estas pérdidas deben mantenerse dentro de límites aceptables para evitar diferencias de presión significativas entre los extremos del sistema, especialmente en cultivos con exigencia de uniformidad como el maracuyá o la piña.

**Diámetro de tuberías:** La elección del diámetro de las tuberías debe garantizar una velocidad del agua adecuada (entre 0.6 y 2.0 m/s para tubería principal; 0.3–1.5 m/s para secundarias y laterales), pérdidas de carga aceptables y un costo razonable del sistema.

a. Tubería principal:

Se dimensiona en función del caudal total del sistema. Se utiliza la ecuación de continuidad:

$$Q = A \cdot V = \frac{\pi D^{1.75}}{4} \cdot V$$

b. Tuberías secundarias y laterales:

Se dimensionan con base en el caudal que deben transportar por sector. La variación de presión entre el primer y último gotero de una línea no debe superar el 10% de la presión nominal del emisor.

**Selección de la bomba:** La bomba entrega la energía necesaria para movilizar el agua desde la fuente hasta los goteros. Su selección requiere calcular:

a. *Caudal total requerido:*

$$Q_{total} = n \cdot qe$$

n: número de emisores

qe: caudal unitario por emisor

*b. Altura Manométrica Total (HMT):*

$$HMT = h_{geo} + h_f + h_{accesorios} + h_{servicios}$$

*c. Potencia requerida de la bomba*

$$PH = \gamma \cdot Q \cdot Hb$$

## **8. METODOLOGÍA**

La metodología desarrollada para el presente proyecto se fundamenta en un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo, orientado a analizar y modelar de manera objetiva los componentes físicos, hidráulicos y económicos asociados al diseño de un sistema de riego para los cultivos de maracuyá y piña en el municipio de Nimaima (Cundinamarca). Este enfoque permitió integrar la caracterización territorial e hidrológica, el diseño técnico del sistema hidráulico de distribución y la evaluación económica del proyecto dentro de una estructura metodológica coherente y verificable. El carácter cuantitativo se reflejó en la recolección, procesamiento y análisis de datos medibles como variables climáticas, caudales, dimensiones hidráulicas y costos de inversión mientras que la fase descriptiva permitió representar las condiciones del entorno sin alterar sus características naturales, priorizando la observación, comparación y modelación de resultados. En conjunto, esta metodología garantizó la trazabilidad de los procesos, la consistencia de los resultados y la posibilidad de replicar el modelo en contextos agrícolas con condiciones similares.

### **8.1. Caracterización del lugar**

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo-descriptivo con diseño no experimental, orientado a la caracterización de las condiciones agro climáticas, hidrológicas y productivas del municipio de Nimaima, Cundinamarca, con énfasis en los requerimientos hídricos de los cultivos de maracuyá (*Passiflora edulis*) y piña (*Ananas comosus*). El desarrollo metodológico se estructura en cuatro fases

#### **8.1.1 Recolección y análisis de información**

Se recopiló información climática e hidrológica histórica correspondiente al año 2024 proveniente de fuentes oficiales como el IDEAM, IGAC, la CAR, el Ministerio de Agricultura y estudios previos desarrollados en la región. Esta fase comprenderá los siguientes parámetros:

Tabla 1. Temperatura de Nimaima, Cundinamarca IDEAM

| Mes        | T° Máxima promedio (C°) | T° Mínima promedio (C°) |
|------------|-------------------------|-------------------------|
| Enero      | 24,3                    | 13,3                    |
| Febrero    | 24,5                    | 13,9                    |
| Marzo      | 23,8                    | 14,7                    |
| Abril      | 23                      | 14,4                    |
| Mayo       | 23,3                    | 14,3                    |
| Junio      | 23,5                    | 13,8                    |
| Julio      | 23,8                    | 13,7                    |
| Agosto     | 24,4                    | 14,0                    |
| Septiembre | 24,8                    | 13,8                    |
| Octubre    | 23,1                    | 13,7                    |
| Noviembre  | 22,5                    | 13,6                    |
| Diciembre  | 23,1                    | 13,1                    |

En el departamento de Cundinamarca, la temperatura promedio general se mantiene cercana a los 23 °C, lo que refleja un clima templado y relativamente constante a lo largo del año (Weather Atlas, s. f.). En el caso particular del municipio de Nimaima, los registros muestran que las temperaturas mínimas promedio se sitúan alrededor de los 13 °C a 15 °C, mientras que las máximas alcanzan entre 23 °C y 27 °C, con ligeras variaciones mensuales.

Esta estabilidad térmica convierte a Nimaima en un entorno privilegiado para la agricultura, especialmente para cultivos tropicales como la piña y la maracuyá. Ambos requieren condiciones cálidas y regulares para desarrollarse de manera óptima, favoreciendo tanto el crecimiento vegetativo como la calidad de los frutos. La presencia de temperaturas suaves, sin extremos marcados de calor o frío, reduce el riesgo de estrés climático y aporta una ventaja competitiva en términos de productividad agrícola en la región.

Tabla 2. Precipitación Nimaima, Cundinamarca (IDEAM)

| Mes        | Precipitación (mm) | Días de lluvia (promedio) |
|------------|--------------------|---------------------------|
| Enero      | 52                 | 13,4                      |
| Febrero    | 71                 | 13,5                      |
| Marzo      | 121                | 18,4                      |
| Abril      | 117                | 17,9                      |
| Mayo       | 85                 | 16,3                      |
| Junio      | 40                 | 11,8                      |
| Julio      | 30                 | 11,4                      |
| Agosto     | <b>28</b>          | <b>10,1</b>               |
| Septiembre | 37                 | 11,6                      |
| Octubre    | <b>125</b>         | 17,4                      |
| Noviembre  | 119                | 16,6                      |
| Diciembre  | 49                 | <b>13,1</b>               |

En Nimaima, las lluvias no se presentan de manera uniforme, sino que siguen un ritmo marcado por épocas de abundancia y de escasez, lo que influye directamente en la agricultura y en la disponibilidad de agua para la comunidad. En promedio, el municipio recibe entre 1.500 y 1.600 mm de precipitación al año, una cifra que coincide con los valores reportados para toda la Provincia del Gualivá, donde el promedio anual ronda los 1.500 mm.

Los estudios municipales muestran que la mayor parte del territorio (alrededor del 72 %) se encuentra en un rango de 1.000 a 2.000 mm anuales, mientras que el restante 28 % alcanza volúmenes más altos, entre 2.000 y 3.000 mm, evidenciando cómo la diversidad del relieve y la altitud generan contrastes en las condiciones climáticas locales.

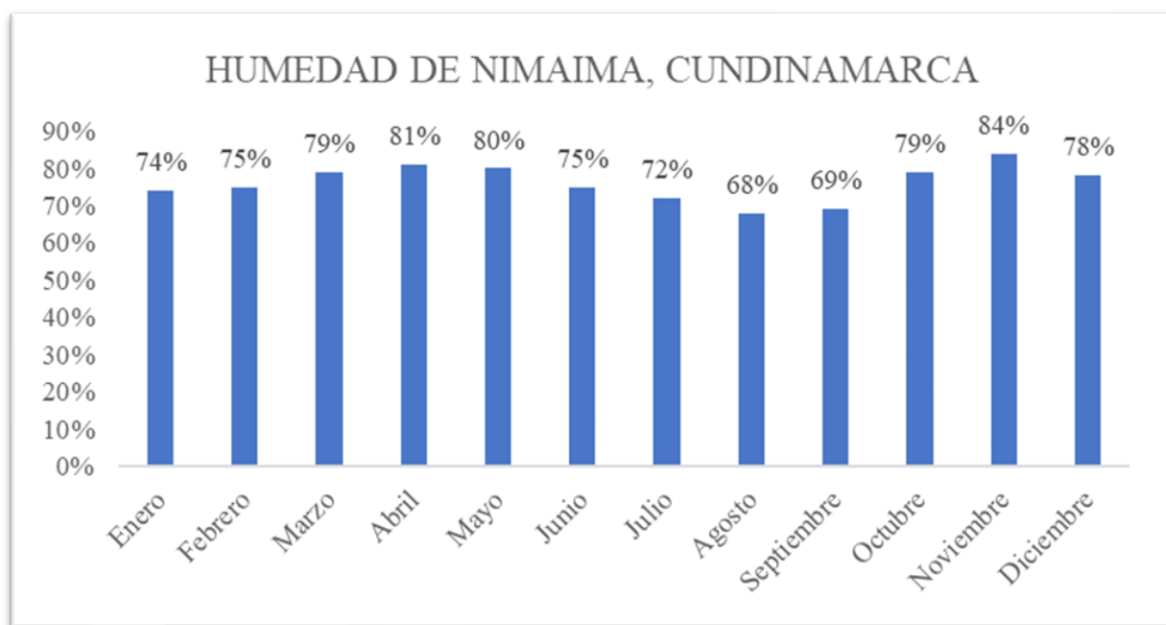
Si se observa el comportamiento mensual, se distinguen claramente los extremos: agosto es el mes más seco, con tan solo 28 mm de lluvia y cerca de 10 días lluviosos, mientras que octubre se convierte en el más lluvioso, acumulando alrededor de 125 mm y más de 17 días de precipitación. Marzo, por su parte, aunque no alcanza los valores más altos en milímetros, se destaca como el mes con mayor número de días lluviosos, superando los 18 en promedio.

Este patrón revela un régimen de lluvias bimodal, en el que las temporadas de abundante precipitación se alternan con meses más secos. Para la agricultura local, este vaivén climático representa tanto un reto como una oportunidad: cultivos como la piña y la maracuyá

encuentran en esta dinámica un ambiente propicio, pues la combinación de humedad suficiente y periodos de sequía favorece tanto el crecimiento vegetativo como la maduración adecuada de los frutos.

*Tabla 3. Humedad relativa Nimaima, Cundimarca (IDEAM)*

| Mes        | Porcentaje (%) |
|------------|----------------|
| Enero      | 74             |
| Febrero    | 75             |
| Marzo      | 79             |
| Abril      | 81             |
| Mayo       | 80             |
| Junio      | 75             |
| Julio      | 72             |
| Agosto     | <b>68</b>      |
| Septiembre | 69             |
| Octubre    | 79             |
| Noviembre  | <b>84</b>      |
| Diciembre  | 78             |



*Gráfica 1. Humedad Nimaima, Cundinamarca*

De acuerdo con la información presentada, se identifica que la humedad relativa en el municipio de Nimaima, Cundinamarca, presenta variaciones mensuales significativas. Según los datos recopilados, la humedad oscila entre un mínimo del 68 % en el mes de agosto y un máximo del 84 % en noviembre.

La información hidrológica utilizada en el presente proyecto se obtuvo mediante una combinación de fuentes secundarias oficiales, revisión bibliográfica y análisis cartográfico, con el propósito de caracterizar la disponibilidad y dinámica del recurso hídrico en el municipio de Nimaima (Cundinamarca). Inicialmente, se consultó el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Negro (POMCA), publicado por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2020), el cual permitió identificar las principales cuencas y subcuencas que influyen en el territorio, como el río Negro, el río Tobia y el río Pinzaima. Este documento constituyó la base para delimitar la red hídrica y los sectores con mayor potencial de captación de agua para uso agropecuario.

De manera complementaria, se revisó la investigación desarrollada por Jiménez-Rojas (2018) en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A.), que ofrece una descripción físico-ambiental de la cuenca del río Negro, incluyendo parámetros de drenaje, pendientes y densidad hídrica. Estos datos fueron contrastados con la cartografía disponible en el portal geográfico de la CAR y con los mapas hidrográficos del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2018), lo que permitió corroborar la existencia de quebradas locales como La Berbería, El Gallinazo, El Tigre y La Negra y la presencia de nacimientos en diferentes veredas rurales del municipio.

Finalmente, toda la información recopilada fue sistematizada en una tabla de inventario hidrológico y validada mediante análisis espacial en software de información geográfica (QGIS), superponiendo las capas de drenaje, uso del suelo y límites veredales. Este procedimiento garantizó una lectura integral del sistema hídrico, permitiendo definir las zonas de captación más adecuadas para el diseño hidráulico del sistema de riego y la planificación de los recursos hídricos en el modelo económico del proyecto.

## **8.2. Diseño hidráulicooperativo y s-elección técnica del sistema**

Con el fin de dar cumplimiento al segundo objetivo específico del presente trabajo, se formulará una metodología orientada a la identificación, selección e integración de los componentes técnicos del sistema de riego, así como al diseño hidráulico-operativo del mismo. Esta metodología se desarrollará en cuatro etapas interrelacionadas:

1. Estimación de la demanda hídrica de los cultivos.
2. Dimensionamiento hidráulico del sistema.
3. Selección técnica de los componentes.
4. Validación operativa y eficiencia del riego.

### **8.2.1 Estimación de la demanda hídrica de los cultivos**

Esta primera etapa consiste en determinar la dotación de riego necesaria para los cultivos de maracuyá (*Passiflora edulis*) y piña (*Ananas comosus*) en la vereda Loma Larga del municipio de Nimaima, Cundinamarca.

#### **8.2.1.1. Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)**

La evapotranspiración de referencia, representa la cantidad de agua que evapora una superficie estándar y se utiliza para estimar la demanda hídrica de los cultivos. (Allen et al., 1998 – FAO-56). Para obtener un valor de E<sub>to</sub>, se realizó una estimación con registros satelitales/climatológicos (NASA POWER). Posterior a esto, se obtiene la ecuación estándar (FAO-56), con el fin de obtener valores mensuales.

Tabla 4. *ETo estimada – mensual (mm/día).*

| <b>Eto estimada mensual<br/>(mm/día)</b> |                     |
|------------------------------------------|---------------------|
| <b>Mes</b>                               | <b>Eto (mm/día)</b> |
| Enero                                    | 4,9                 |
| Febrero                                  | 4,8                 |
| Marzo                                    | 4,6                 |
| Abril                                    | 4,3                 |
| Mayo                                     | 3,9                 |
| Junio                                    | 3,6                 |
| Julio                                    | 3,5                 |
| Agosto                                   | 3,6                 |
| Septiembre                               | 3,9                 |
| Octubre                                  | 4,2                 |
| Noviembre                                | 4,6                 |
| Diciembre                                | 4,9                 |
| <b>Media anual</b>                       | <b>4,2</b>          |

Se evidencia que los meses de enero y diciembre tienen mayor demanda, por ende, se usaron como mes de diseño para los cálculos de caudal y reserva.

$$ET_o = 4.9 \text{ mm/día}$$

#### 8.2.1.2. Coeficientes de cultivo ( $K_c$ )

El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), es un factor adimensional que ajusta la evapotranspiración de referencia ( $ETo$ ) a las necesidades hídricas reales de un cultivo en una etapa determinada.

$$ET_c = K_c * ETo$$

*ET<sub>c</sub> : Evapotranspiración del cultivo (mm/día)*

*ET<sub>c</sub> : Evapotranspiración de referencia (mm/día)*

*K<sub>c</sub> : Depende de la especie*

La (FAO-56, Allen et al, 1998), nos dice que para cultivos de maracuyá y piña, existen estudios específicos que reportan valores adaptados a condiciones de clima cálido-húmedo como las del municipio de Nimaima, Cundinamarca.

Según (Ferreira et al. 2019) y la tesis (Universidad del Valle (2017). *Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) del maracuyá en condiciones del Valle del Cauca*), los valores de Kc para los cultivos de maracuyá (*Passiflora edulis*) son:

Tabla 5. Valores de Kc para maracuyá.

| <b>Valores de Kc para Maracuyá</b> |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| <b>Etapas fenológicas</b>          | <b>Kc recomendado</b> |
| Inicial / vegetativa               | 0,55 - 0,56           |
| Desarrollo                         | 0,75 - 0,95           |
| Floración / fructificación         | 1,10 - 1,25           |
| Maduración / post - cosecha        | 0,90 - 1,00           |

Con respecto a la piña, este es un cultivo de ciclo largo, por lo que sus Kc varía considerablemente en cada etapa (Teixeira et al. 2014), (Castañeda et al. 2020).

Tabla 6. Valores de Kc para piña.

| <b>Valores de Kc para Piña</b> |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| <b>Etapas fenológicas</b>      | <b>Kc recomendado</b> |
| Establecimiento (0 - 3 meses)  | 0,35 - 0,50           |
| Crecimiento vegetativo         | 0,65 - 0,85           |
| Floración                      | 0,90 - 1,05           |
| Desarrollo de fruto            | 1,00 - 1,20           |
| Maduración                     | 0,80 - 0,90           |

Para el diseño hidráulico, se recomienda usar el Kc máximo, para poder garantizar que el sistema esté preparado para cubrir la demanda pico del cultivo, evitando el déficit hídrico en la etapa más crítica.

- Maracuyá: 1.25 (floración y fructificación).
- Piña: 1.20 (desarrollo de fruto).

### 8.2.1.3. Eficiencia del sistema (Ea)

La eficiencia de aplicación (Ea), corresponde al porcentaje del agua suministrada por el sistema de riego que es aprovechada por el cultivo. Según (FAO-56; Keller & Bliesner, 1990) y (Keller & Bliesner 1990).

Tabla 7. Valores de Kc para piña

| Valores de referencia por sistema de riego |               |                                             |
|--------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------|
| Etapas fenológicas                         | Ea (%) típica | Rango reportado                             |
| Superficie (Gravedad)                      | 50 - 70       | Baja eficiencia                             |
| Aspersión convencional                     | 70 - 85       | Influenciado por viento y evaporación       |
| Aspersión localizada                       | 75 - 90       | Mejor distribución que aspersión aérea      |
| Goteo Localizado                           | 85 - 95       | Alta eficiencia, pérdidas mínimas, uniforme |

Para las condiciones de la vereda Loma Grande, el riego por goteo es la alternativa más adecuada y por el tipo de cultivo, ya que este requiere un suministro más controlado y frecuente.

Para el diseño hidráulico, se recomienda adoptar un valor conservador de 90 %, que representa un sistema bien diseñado y operado, con uniformidad de distribución mayor al 85% (Christiansen's Uniformity Coefficient, CUC).

### 8.2.1.4. Dotación de riego (D)

La dotación de riego representa la cantidad bruta de agua que debe aplicarse al cultivo mediante el sistema de riego.

Se calculará mediante:

$$D = \frac{ETc}{Ea}$$

Donde:

$$ETc = ET_o \times Kc$$

Se realizan los cálculos con los datos obtenidos:

- Para el maracuyá:

$$ET_c = 1.25 \times 4.9 \frac{mm}{día}$$

$$ET_c = 6.125 \frac{mm}{día}$$

$$D = \frac{6.125 \frac{mm}{día}}{0.90}$$

$$D = 6.81 \frac{mm}{día}$$

Es decir, se requiere  $6.81 \frac{L}{día}$

- Para la piña:

$$ET_c = 1.20 \times 4.9 \frac{mm}{día}$$

$$ET_c = 5.88 \frac{mm}{día}$$

$$D = \frac{5.88 \frac{mm}{día}}{0.90}$$

$$D = 6.53 \frac{mm}{día}$$

Es decir, se requiere  $6.53 \frac{L}{día}$

### 8.2.2. Dimensionamiento hidráulico del sistema

El diseño hidráulico parte de la disponibilidad de agua del nacimiento, ubicado en la parte alta del predio, lo que permite aprovechar la presión natural por gravedad.

### 8.2.2.1. Marco de plantación

Es la distancia entre plantas en el campo.

- *Maracuyá : Marco típico 2.5 m x 3.0 m*
- *Piña : Marco típico 0.80 m x 0.50 m*

(Fuente: agronomía tropical, FAO Irrigation and Drainage Papers, ensayos en Brasil y Colombia).

Para hallar el número de plantas que caben por hectárea se utilizó la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que el área a sembrar es de 1000 m<sup>2</sup>

$$N^{\circ} \text{ de plantas por surco} = \frac{A}{Sr}$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas por fila} = \frac{A}{Sp}$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas} = N^{\circ} \text{ de plantas por surco} * N^{\circ} \text{ de plantas por fila}$$

$A$  = Área disponible m<sup>2</sup>

$Sr$  = Esparcimiento entre surcos (m)

$Sp$  = Esparcimiento entre plantas en fila (m)

- Para el maracuyá:

*Maracuyá : Marco típico 2.5 m x 3.0 m*

$$N^{\circ} \text{ de plantas por surco} = \frac{20}{2.5}$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas por surco} = 8$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas por fila} = \frac{25}{3.0}$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas por surco} = 8$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas} = 8 \times 8$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas} = 64$$

- Para la piña:

$$N^{\circ} \text{ de plantas por surco} = \frac{20}{0.5}$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas por surco} = 40$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas por fila} = \frac{25}{0.8}$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas por surco} = 31$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas} = 40 \times 31$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas} = 1240$$

#### 8.2.2.2. Determinación de número y tipo de goteros.

La elección del número de emisores por planta se basa en el marco de plantación, el volumen radicular y la practicidad operativa. En maracuyá (marco 2.5×3.0 m, ≈7.5 m<sup>2</sup>/planta) se recomiendan dos emisores por planta, ubicados a ambos lados del tallo (≈30–50 cm), para garantizar un bulbo húmedo simétrico y reducir tiempos de riego extremos (manuales de producción y guías de riego, p. ej. Passionfruit production manuals; Netafim design guides). En piña (marco 0.45 × 0.40 m, ≈0.18 m<sup>2</sup>/planta) la práctica comercial y manuales técnicos usan un emisor por planta (1.6–2.0 L/h), porque la zona radicular es pequeña y la densidad de plantas hace inviable colocar dos emisores por planta (FAO, guías de cultivo; Teixeira et al., 2014).

- Para el maracuyá

$$N^{\circ} \text{ de goteros} = N^{\circ} \text{ de plantas}$$

$$N^{\circ} \text{ de goteros} = 64$$

- Para la piña:

$$N^{\circ} \text{ de goteros} = N^{\circ} \text{ de plantas}$$

$$N^{\circ} \text{ de goteros} = 1240$$

Se eligen los goteros autocompensados porque existe pendiente o diferencias de presión entre laterales → autocompensado (mantiene caudal pese a variación de presión).

### 8.2.2.3. Caudal total requerido (Q)

Inicialmente se debe hallar el volumen total diario  $Vd$  que se debe aplicar al área de cultivo:

$$Vd = D * N$$

$$Vd = \text{Volumen diario}$$

$$D = \text{Dotación de riego } L/\text{día} \quad \text{Se toma el valor máximo}$$

$$N = \text{Número de plantas}$$

$$Vd = 6.81 * 1304$$

$$Vd = 8880 \frac{L}{\text{día}}$$

$$Vd = 8.88 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Finalmente, el caudal de diseño del sistema de riego resulta de distribuir dicho volumen en el tiempo efectivo de riego ( $Tr$ )

### 8.2.2.4. Tiempo requerido de riego $Tr$

$$Tr = \frac{Vd}{Q}$$

$$Vd = \text{Volumen diario total} \left( \frac{L}{\text{día}} \right)$$

$$Q = \text{Caudal del sistema} \frac{L}{h}$$

$$Tr = \text{Tiempo efectivo de riego} \left( \frac{\text{horas}}{\text{día}} \right)$$

Como se usarán goteros autocompensados, su caudal es constante dentro de un rango de presión, se recomienda usar 10 mca como presión mínima (INIA, literatura técnica)

$$\text{Caudal por gotero} = 2 \frac{L}{h}$$

Total, goteros:

- *Piña* = 1240
- *Maracuyá* = 64
- *Total* = 1304 goteros

$$Q = 1304 \text{ goteros} \times 2 \frac{L}{h}$$

$$Q = 2608 \frac{L}{h}$$

Entonces:

$$Tr = \frac{8880}{2608}$$

$$Tr = 3.40 \text{ h}$$

Ahora se usa  $Tr = 3.40 \text{ h}$  para calcular el caudal de diseño:

$$Q = \frac{Vd}{Tr}$$

$$Q = \frac{8880}{3.40}$$

$$Q = 2612 \frac{L}{h} \quad Q = 0.725 \frac{L}{s} \quad Q = 0.000725 \text{ m}^3/s$$

Esto nos quiere decir que el caudal cumple con el requerimiento con lo que entregan los goteros.

#### 8.2.2.5. Caudal por ramal

- **Piña**

$$N^{\circ} \text{ de goteros por ramal} = 31$$

$$\text{Caudal por gotero} = 2 \frac{L}{h}$$

*Caudal por ramal:*

$$Q = N^{\circ} \text{ de goteros por ramal} * \text{Caudal por gotero}$$

*Caudal por ramal:*

$$Q = 31 * 2 \frac{L}{h}$$

$$Q = 62 \frac{L}{h} \quad Q = 0.0172 \frac{L}{s} \quad Q = 1.72 \times 10^{-5} m^3/s$$

- **Maracuyá**

*N° de goteros por ramal = 8*

$$\text{Caudal por gotero} = 2 \frac{L}{h}$$

*Caudal por ramal:*

$$Q = N^{\circ} \text{ de goteros por ramal} * \text{Caudal por gotero}$$

*Caudal por ramal:*

$$Q = 8 * 2 \frac{L}{h}$$

$$Q = 16 \frac{L}{h} \quad Q = 0.0044 \frac{L}{s} \quad Q = 4.44 \times 10^{-6} m^3/s$$

#### **8.2.2.6. Red principal (tanque a ramales) método flamant**

Teniendo en cuenta el caudal requerido por el sistema  $Q = 0.725 \frac{L}{s}$  se ubica en la tabla de flamant y se evalúa el resto de los datos como las perdidas y la velocidad para verificar si el diámetro es el adecuado.

Tabla 8. Valores por diámetro FLAMANT

**1 1/2"**

$$j = 4C (V^{1.75} / D^{1.25})$$

$$Q = AV$$

$$j = 6,1C (Q^{1.75} / D^{4.75})$$

| Unidades | Caudal Q                  |       |      | V    | hv   | Pérdidas por fricción en m/m |                             |                  |                  |                   |
|----------|---------------------------|-------|------|------|------|------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|-------------------|
|          | Coeficiente de fricción C |       |      |      |      |                              |                             |                  |                  |                   |
|          | gal/<br>min               | l/min | l/s  | m/s  | m    | Fundido<br>0,00031           | Galva-<br>nizado<br>0,00023 | Acero<br>0,00018 | Cobre<br>0,00012 | P.V.C.<br>0,00010 |
| 14       | 10                        | 37,85 | 0,63 | 0,55 | 0,02 | 0,026                        | 0,019                       | 0,015            | 0,010            | 0,008             |
| 16       | 12                        | 45,42 | 0,76 | 0,66 | 0,02 | 0,036                        | 0,027                       | 0,021            | 0,014            | 0,012             |
| 22       | 13                        | 49,21 | 0,82 | 0,72 | 0,03 | 0,041                        | 0,031                       | 0,024            | 0,016            | 0,013             |
| 23       | 16                        | 60,56 | 1,01 | 0,89 | 0,04 | 0,060                        | 0,044                       | 0,035            | 0,023            | 0,019             |
| 30       | 20                        | 75,70 | 1,26 | 1,11 | 0,06 | 0,088                        | 0,065                       | 0,051            | 0,034            | 0,028             |
| 38       | 24                        | 90,84 | 1,51 | 1,33 | 0,09 | 0,121                        | 0,090                       | 0,070            | 0,047            | 0,039             |
| 40       | 25                        | 94,63 | 1,58 | 1,38 | 0,10 | 0,130                        | 0,096                       | 0,075            | 0,050            | 0,042             |

### 8.2.2.7. Ramal piña - método Flamant

Teniendo en cuenta el caudal requerido por este ramal  $Q = 0.0172 \frac{L}{s}$  se ubica en la tabla de flamant para este caso no hay un requerimiento de velocidad ya que no se requiere velocidad del agua sino simplemente garantizar que el tubo este lleno para alimentar los goteros, adicionalmente es el diámetro de tubería mas pequeño del mercado.

**1/2"**

$$j = 4C (V^{1.75} / D^{1.2})$$

$$Q = AV$$

$$j = 6,1C (Q^{1.75} / D^{4.75})$$

| Unidades | Caudal Q |       |      | V    | hv    | Pérdidas por fricción en m/m |                             |                  |                  |                   |
|----------|----------|-------|------|------|-------|------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|-------------------|
|          |          |       |      |      |       | Coeficiente de fricción C    |                             |                  |                  |                   |
|          | gal/min  | l/min | l/s  | m/s  | m     | Fundido<br>0,00031           | Galva-<br>nizado<br>0,00031 | Acero<br>0,00018 | Cobre<br>0,00012 | P.V.C.<br>0,00010 |
| 1        | 3,79     | 0,06  | 0,47 | 0,01 | 0,079 | 0,058                        | 0,046                       | 0,030            | 0,025            |                   |
| 2        | 2        | 7,57  | 0,13 | 1,03 | 0,05  | 0,304                        | 0,226                       | 0,177            | 0,118            | 0,098             |
| 3        | 3        | 11,35 | 0,19 | 1,50 | 0,11  | 0,591                        | 0,439                       | 0,343            | 0,229            | 0,191             |
| 5        | 4        | 15,14 | 0,25 | 1,97 | 0,20  | 0,956                        | 0,709                       | 0,555            | 0,370            | 0,308             |
| 6        | 5        | 18,92 | 0,32 | 2,53 | 0,33  | 1,472                        | 1,092                       | 0,855            | 0,570            | 0,475             |
| 7        | 6        | 22,71 | 0,38 | 3,00 | 0,46  | 1,989                        | 1,475                       | 1,155            | 0,770            | 0,642             |
| 8        | 7        | 26,50 | 0,44 | 3,49 | 0,62  | 2,587                        | 1,919                       | 1,502            | 1,001            | 0,834             |

### 8.2.2.8. Ramal maracuyá - método Flamant

Teniendo en cuenta el caudal requerido por este ramal  $Q = 0.0044 \frac{L}{s}$  se ubica en la tabla de flamant para este caso no hay un requerimiento de velocidad ya que no se requiere velocidad del agua sino simplemente garantizar que el tubo este lleno para alimentar los goteros, adicionalmente es el diámetro de tubería mas pequeño del mercado.

**1/2"**

$$j = 4C (V^{1.75} / D^{1.2})$$

$$Q = AV$$

$$j = 6.1C (Q^{1.75} / D^{4.75})$$

| Unidades | Caudal Q                  |       |      | V    | hv    | Pérdidas por fricción en m/m |                             |                  |                  |                   |
|----------|---------------------------|-------|------|------|-------|------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|-------------------|
|          | Coeficiente de fricción C |       |      |      |       |                              |                             |                  |                  |                   |
|          | gal/min                   | l/min | l/s  | m/s  | m     | Fundido<br>0,00031           | Galva-<br>nizado<br>0,00031 | Acero<br>0,00018 | Cobre<br>0,00012 | P.V.C.<br>0,00010 |
| 1        | 3,79                      | 0,06  | 0,47 | 0,01 | 0,079 | 0,058                        | 0,046                       | 0,030            | 0,025            |                   |
| 2        | 2                         | 7,57  | 0,13 | 1,03 | 0,05  | 0,304                        | 0,226                       | 0,177            | 0,118            | 0,098             |
| 3        | 3                         | 11,35 | 0,19 | 1,50 | 0,11  | 0,591                        | 0,439                       | 0,343            | 0,229            | 0,191             |
| 5        | 4                         | 15,14 | 0,25 | 1,97 | 0,20  | 0,956                        | 0,709                       | 0,555            | 0,370            | 0,308             |
| 6        | 5                         | 18,92 | 0,32 | 2,53 | 0,33  | 1,472                        | 1,092                       | 0,855            | 0,570            | 0,475             |
| 7        | 6                         | 22,71 | 0,38 | 3,00 | 0,46  | 1,989                        | 1,475                       | 1,155            | 0,770            | 0,642             |

#### 8.2.2.9. Ruta crítica- Flamant -Hv tanque

Se realiza el cálculo de la ruta crítica para conocer cuál es la altura vertical requerida del tanque de almacenamiento para garantizar la presión requerida en el punto de riego más lejano del sistema, para este caso la presión requerida en este punto es de 0.1mca, garantizando esta presión se garantiza que el agua llegue a todo el sistema.

#### Diámetro 1/2" (ramales)

Para la parte de la ruta crítica donde la tubería es de 1/2" (ramales), los datos requeridos se toman de las tablas de flamant y la longitud de toma de las condiciones reales del lugar y Le se toma el 20% del Lh.

$$Hv = \frac{\frac{Pb}{\gamma} + hv + J (Lh + Le)}{1 - J}$$

$$Hv = \frac{0.1mca + 0.47m/s + 0.025 (22.57m + 4.51m)}{1 - 0.025}$$

$$Hv = 1.2m$$

#### Diámetro 1 1/2" (red principal)

Para la parte de la ruta crítica donde la tubería es de 1½” (ramales), los datos requeridos se toman de las tablas de flamant y la longitud de toma de las condiciones reales del lugar y Le se toma el 20% del Lh.

$$Hv = \frac{\frac{Pb}{\gamma} + hv + J (Lh + Le)}{1 - J}$$

$$Hv = \frac{0.11mca + 0.89m/s + 0.019 (40.76m + 8.152m)}{1 - 0.019}$$

$$Hv = 1.96m$$

#### **Altura tanque HV**

$$Hv = 1.2m + 1.96m$$

$$Hv = 3.23m$$

Altura requerida para el tanque 3.23 m

#### **8.2.2.10 Calculo para requerimiento de bomba**

Para el cálculo de requerimiento de la bomba del nacimiento al tanque contamos con los siguientes datos

$V_{día} = 8.88 m^3$ . Volumen requerido para un día de riego

Se calcula con una eficiencia para 2 días con un factor de seguridad de 1.2

$V_{tanque} = 21,2 m^3$ . Volumen total para 2 días

$Tiempo\ de\ llenado = 6\ horas$  se toma este tiempo de llenado por capacidad de nacimiento de agua.

$$Q = \frac{V_{tanque}}{Tiempo}$$

$$Q = \frac{21.2m^3}{6 \text{ horas}}$$

$$Q = 3,53$$

$$Q = 3,53m^3/h \text{ --- } 0,980 \text{ l/s --- } 0,000980m^3/s$$

- **Succión (Nacimiento - Bomba ) Flamant**

Para el cálculo de la red de succión contamos con  $Q = 0,980 \text{ L/s --- } 0,000980 \text{ m}^3/\text{s}$  nos ubicamos en las tablas de los diámetros de tubería y elegimos la tabla teniendo en cuenta el caudal y una velocidad que se ajuste al rango requerido, si la velocidad es muy alta debemos validar un diámetro más grande.

**1 1/2"**       $j = 4C (V^{1,75} / D^{1,25})$        $Q = AV$        $j = 6,1C (Q^{1,75} / D^{4,75})$

| Unidades | Caudal Q |        |      | V    | h <sub>v</sub> | Pérdidas por fricción en m/m |                             |                  |                  |                   |
|----------|----------|--------|------|------|----------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|-------------------|
|          |          |        |      |      |                | Coeficiente de fricción C    |                             |                  |                  |                   |
|          | gal/min  | l/min  | l/s  | m/s  | m              | Fundido<br>0,00031           | Galva-<br>nizado<br>0,00023 | Acero<br>0,00018 | Cobre<br>0,00012 | P.V.C.<br>0,00010 |
| 14       | 10       | 37,85  | 0,63 | 0,55 | 0,02           | 0,026                        | 0,019                       | 0,015            | 0,010            | 0,008             |
| 16       | 12       | 45,42  | 0,76 | 0,66 | 0,02           | 0,036                        | 0,027                       | 0,021            | 0,014            | 0,012             |
| 22       | 13       | 49,21  | 0,82 | 0,72 | 0,03           | 0,041                        | 0,031                       | 0,024            | 0,016            | 0,013             |
| 23       | 16       | 60,56  | 1,01 | 0,89 | 0,04           | 0,060                        | 0,044                       | 0,035            | 0,023            | 0,019             |
| 30       | 20       | 75,70  | 1,26 | 1,11 | 0,06           | 0,088                        | 0,065                       | 0,051            | 0,034            | 0,028             |
| 38       | 24       | 90,84  | 1,51 | 1,33 | 0,09           | 0,121                        | 0,090                       | 0,070            | 0,047            | 0,039             |
| 40       | 25       | 94,63  | 1,58 | 1,38 | 0,10           | 0,130                        | 0,096                       | 0,075            | 0,050            | 0,042             |
| 46       | 28       | 105,98 | 1,77 | 1,55 | 0,12           | 0,158                        | 0,118                       | 0,092            | 0,061            | 0,051             |
| 47       | 30       | 113,55 | 1,89 | 1,66 | 0,14           | 0,179                        | 0,133                       | 0,104            | 0,069            | 0,058             |

$V = 0.89 \text{ m/s}$       Está dentro del rango  $0.6 \text{ m/s} - 0.90 \text{ m/s}$

$$h_v = 0.04$$

$$J = 0,019$$

Con los datos obtenidos de la tabla y las distancias horizontales y verticales calculamos el H de succión, según ficha técnica de Pavco el Polietileno tiene el mismo coeficiente que el PVC.

$$H_s = J * (Lv + LH + Le)$$

$$H_s = 0,019 * (1 + 2 + 0,3)$$

$$H_s = 0,0627$$

- **Impulsión (Bomba – Tanque)**

Para el cálculo de la red de succión contamos con  $Q = 0,980 \text{ L/s} \rightarrow 0,000980 \text{ m}^3/\text{s}$  nos ubicamos en las tablas de los diámetros de tubería y elegimos la tabla teniendo en cuenta el caudal y una velocidad que se ajuste al rango requerido, si la velocidad es muy alta debemos validar un diámetro más grande.

**1 1/4"**       $j = 4C (V^{1.75} / D^{1.25})$        $Q = AV$        $j = 6,1C (Q^{1.75} / D^{4.75})$

| Unidades | Caudal Q |       |      | V    | hv   | Pérdidas por fricción en m/m |                        |                  |                  |                   |
|----------|----------|-------|------|------|------|------------------------------|------------------------|------------------|------------------|-------------------|
|          | gal/min  | l/min | l/s  |      |      | Coeficiente de fricción C    |                        |                  |                  |                   |
|          |          |       |      | m/s  | m    | Fundido<br>0,00031           | Galvanizado<br>0,00023 | Acero<br>0,00018 | Cobre<br>0,00012 | P.V.C.<br>0,00010 |
| 8        | 7        | 26,50 | 0,44 | 0,56 | 0,02 | 0,033                        | 0,025                  | 0,019            | 0,013            | 0,011             |
| 10       | 8        | 30,28 | 0,50 | 0,64 | 0,02 | 0,042                        | 0,031                  | 0,024            | 0,016            | 0,014             |
| 12       | 9        | 34,07 | 0,57 | 0,72 | 0,03 | 0,052                        | 0,038                  | 0,030            | 0,020            | 0,017             |
| 16       | 12       | 45,42 | 0,76 | 0,96 | 0,05 | 0,086                        | 0,063                  | 0,050            | 0,033            | 0,028             |
| 22       | 15       | 56,78 | 0,95 | 1,20 | 0,07 | 0,126                        | 0,094                  | 0,073            | 0,049            | 0,041             |
| 27       | 18       | 68,13 | 1,14 | 1,43 | 0,10 | 0,174                        | 0,129                  | 0,101            | 0,067            | 0,056             |
| 30       | 20       | 75,70 | 1,26 | 1,59 | 0,13 | 0,209                        | 0,155                  | 0,121            | 0,081            | 0,067             |
| 32       | 21       | 79,49 | 1,32 | 1,67 | 0,14 | 0,228                        | 0,169                  | 0,132            | 0,088            | 0,073             |
| 45       | 27       |       | 1,70 | 2,15 | 0,24 | 0,354                        | 0,262                  | 0,205            | 0,137            | 0,114             |
| 46       | 28       |       | 1,77 | 2,23 | 0,25 | 0,377                        | 0,280                  | 0,219            | 0,146            | 0,122             |
| 60       | 32       |       | 2,02 | 2,55 | 0,33 | 0,476                        | 0,353                  | 0,276            | 0,184            | 0,154             |

Con los datos obtenidos de la tabla y las distancias horizontales y verticales calculamos el H de succión, según ficha técnica de Pavco el Polietileno tiene el mismo coeficiente que el PVC.

$$H_i = J * (Lv + LH + Le)$$

$$H_i = 0,041 * (300 + 1 + 30,1)$$

$$H_i = 13,57$$

Se calcula la altura de la bomba

$$Hb = H_G + H_s + H_i + hv$$

$$Hb = 21 + 0,067 + 13,57 + 0,07$$

$$Hb = 34,70$$

#### 8.2.2.11 potencia a la bomba

Para la potencia Hidráulica

$$PH = \gamma * Q * Hb$$

$$PH = 9,81 * 0,980 * 34,70$$

$$PH = 333.59$$

Para la potencia mecánica con eficiencia del 75%

$$Pm = \frac{333,59}{0,75}$$

$$Pm = 444.78 \text{ wats}$$

1 Hp = 746 wats, entonces

$$Pm = \frac{444,78}{746}$$

$$Pm = 0,596 \text{ Hp}$$

#### 8.2.3 Diseño en software (Anexo 1 y 2)

El proceso de diseño del sistema de riego se desarrolló mediante un enfoque digital integral, combinando modelado tridimensional en Revit y representación bidimensional en AutoCAD, con el objetivo de optimizar la precisión geométrica, la interpretación visual y la eficiencia constructiva del proyecto. Esta metodología permitió simular de forma realista la distribución hidráulica, verificar pendientes, y establecer la relación entre los componentes físicos del sistema y la topografía del terreno.

Se generó la superficie del terreno sobre la cual se trazó la red principal de conducción, las líneas de distribución y los ramales secundarios, se modelaron los elementos hidráulicos como familias paramétricas, asignando a cada uno propiedades específicas tales como diámetro, material, clase de presión, caudal y ubicación.

El modelo 3D permitió visualizar de manera integral la distribución del sistema de riego, las distancias entre componentes, la ubicación de los puntos de control y válvulas, así como una vista general del conjunto hidráulico dentro del área cultivable. Esta representación facilitó la identificación temprana de posibles interferencias, optimizando la disposición de los elementos y reduciendo tiempos de corrección en etapas posteriores.

Posteriormente, se realizó la exportación de datos geométricos del modelo tridimensional hacia AutoCAD, con el fin de generar los perfiles longitudinales y transversales del sistema. En estos perfiles 2D se representaron aspectos clave como la altura geométrica del terreno, la altura vertical del tanque de almacenamiento definida según la ruta crítica hidráulica, y los puntos de cambio de nivel en la red de tuberías.

#### **8.2.4 Selección de materiales**

- **Tubería de polietileno:** Se seleccionó tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) por su resistencia mecánica, flexibilidad y comportamiento ante la radiación UV y la humedad del suelo. A diferencia de otros materiales (PVC o manguera reforzada), el polietileno ofrece un mejor desempeño en sistemas presurizados de baja presión, presentando menor pérdida de carga y mayor durabilidad en ambientes tropicales.

Su instalación sencilla y su compatibilidad con accesorios estándar del sistema de goteo facilitan el mantenimiento preventivo y reducen tiempos de reposición.

- **Bomba:** La bomba centrífuga eléctrica fue seleccionada por su capacidad de garantizar una presión constante y caudal uniforme en todo el sistema, condición esencial para la operación eficiente de los goteros. Se evaluaron alternativas diésel y

solares; sin embargo, la opción eléctrica resultó más eficiente en términos de operatividad, costo energético y mantenimiento, considerando la disponibilidad de energía en la zona y la frecuencia de riego requerida por los cultivos. La selección de la potencia se realizó con base en el caudal total del sistema, la altura manométrica y las pérdidas de carga de la red, asegurando un funcionamiento dentro del rango óptimo de eficiencia de la bomba.

- **Tanque de almacenamiento:** Se seleccionó un tanque de almacenamiento tipo australiano como elemento de regulación y reserva dentro del sistema de riego. Este tipo de tanque cumple la misma funcionalidad hidráulica y operativa que otros modelos de almacenamiento (plástico, fibra o metálico), garantizando la disponibilidad de agua constante y el equilibrio del caudal en las líneas de distribución.

La decisión de emplear el modelo australiano se fundamentó principalmente en criterios de costo y eficiencia constructiva, ya que su estructura modular permite fabricación local, fácil montaje y mantenimiento reducido, sin comprometer su desempeño ni la capacidad de almacenamiento requerida. Su diseño abierto y su configuración circular favorecen la aireación y limpieza del agua, mientras que los materiales utilizados generalmente láminas galvanizadas o acero recubierto con geomembrana ofrecen resistencia a la corrosión, durabilidad y estabilidad estructural en condiciones climáticas variables.

En términos operativos, este tanque ofrece una solución económicamente más competitiva sin sacrificar la funcionalidad hidráulica ni la seguridad del sistema, cumpliendo la misma función de regulación de presión y abastecimiento continuo que cualquier tanque comercial de tipo cerrado o de polietileno de alta densidad.

- **Goteros:** Los goteros autocompensantes fueron seleccionados por su capacidad para mantener un caudal uniforme independientemente de la presión, optimizando la distribución de agua y nutrientes a nivel radicular. Este tipo de emisor minimiza

problemas de obstrucción y garantiza una aplicación controlada, reduciendo desperdicios de agua y favoreciendo la eficiencia hídrica del cultivo.

Se seleccionaron goteros autocompensantes de 2 litros por hora (L/h), diseñados para mantener un caudal constante y uniforme en toda la red de riego, independientemente de las variaciones de presión dentro del sistema. Esta elección responde a la necesidad de controlar la lámina de aplicación de agua y evitar excesos que puedan generar encharcamiento o condiciones de saturación en el suelo.

No se optó por emisores de mayor caudal, ya que un flujo superior podría provocar acumulación excesiva de humedad alrededor del sistema radicular, lo que incrementa el riesgo de asfixia radicular y pudrición de las plantas. El caudal de 2 L/h garantiza una infiltración gradual y eficiente, adaptándose al tipo de suelo predominante en la zona de Nimaima y a las necesidades hídricas específicas de los cultivos de maracuyá y piña.

### **8.3 Modelo Económico**

El análisis se desarrolló a partir de la estructura de costos previamente definida, que incluye las inversiones iniciales (infraestructura y equipamiento del sistema de riego), los costos de establecimiento del cultivo (preparación del terreno, siembra y fertilización), y los costos recurrentes asociados a mantenimiento, mano de obra, logística y administración. Cada componente fue proyectado mes a mes durante un periodo de cuatro (4) años, lo que permitió modelar la dinámica económica del sistema productivo y estimar su desempeño financiero bajo diferentes escenarios.

A partir de estos datos, se construyeron los indicadores de evaluación económica —Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Relación Beneficio/Costo (B/C) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)— con el fin de determinar la rentabilidad del proyecto y su capacidad para generar valor a lo largo del tiempo. Este enfoque integral garantiza una visión completa del comportamiento financiero del sistema, brindando una base sólida para la toma de decisiones técnicas, administrativas y de inversión futura.

### **8.3.1 APU y presupuesto para sistema de riego (Anexo 3)**

El análisis de precios unitarios (APU) constituye una herramienta esencial dentro de la formulación económica de proyectos de infraestructura y desarrollo agrícola, ya que permite determinar de manera precisa los costos asociados a cada actividad constructiva. A través de este análisis se desglosan los componentes de mano de obra, materiales, equipos y herramientas necesarios para la ejecución de cada unidad de obra, estableciendo así una base cuantitativa y verificable para la elaboración del presupuesto general del proyecto.

En el contexto del presente estudio, los APU fueron elaborados con el propósito de estimar los costos de construcción e instalación asociados al sistema de riego por goteo, incluyendo actividades como descapote, suministro e instalación de tuberías, ubicación de tanques de almacenamiento, suministro e instalación de goteros, entre otros. Este procedimiento asegura la trazabilidad técnica y económica de cada partida, permitiendo evaluar parte de la inversión requerida bajo condiciones reales de campo.

La elaboración de los Análisis de Precios Unitarios (APU) se desarrolló aplicando una metodología técnica orientada a garantizar la representatividad real de los costos del proyecto en el contexto territorial del municipio de Nimaima, Cundinamarca.

En primera instancia, los rendimientos y costos de mano de obra se tomaron como referencia de la base oficial del Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca (ICCU), específicamente de la sección correspondiente al municipio de Nimaima. Estos valores se utilizaron como línea base para la estimación de los tiempos de ejecución, productividad y costos asociados a las actividades constructivas incluidas en el proyecto.

Por su parte, los costos de materiales se determinaron a partir de un análisis comparativo entre precios de mercado disponibles en internet y cotizaciones directas con proveedores especializados del sector de la construcción. Entre las fuentes de consulta se consideraron plataformas de referencia (Homecenter, Corona, etc), así como distribuidores locales con presencia comercial en la región.

Finalmente, la estructuración del presupuesto consolidado a partir de los APU permite analizar la viabilidad económica del proyecto, siendo este costo una parte fundamental para

la inversión, facilitando la comparación entre la inversión inicial y los beneficios esperados en términos de ahorro hídrico, incremento de la productividad y sostenibilidad operativa. De esta manera, el presupuesto se convierte no solo en un instrumento financiero, sino en una herramienta de planeación estratégica para la toma de decisiones en la implementación del sistema de riego. En la tabla 9 se observa la distribución en capítulos y actividades para para la construcción del sistema de riego.

*Tabla 9. Capítulos y actividades APU y presupuesto (Autoría propia propia)*

| ITEM       | DESCRIPCIÓN                                       | CANTIDAD | UNIDAD |
|------------|---------------------------------------------------|----------|--------|
| <b>1</b>   | <b>PRELIMINARES</b>                               |          |        |
| <u>1.1</u> | REPLANTEO Y LOCALIZACIÓN                          | 80       | ML     |
| <u>1.2</u> | DESCAPOTE Y LIMPIEZA                              | 1000     | M2     |
| <u>1.3</u> | TRASIEGO DE MATERIAL                              | 1        | VJ     |
| <u>1.4</u> | ALISTAMIENTO DE BASE PARA TANQUE                  | 36       | UN     |
| <b>2</b>   | <b>CAPTACIÓN Y BOMBEO</b>                         |          |        |
| <u>2.1</u> | SUMINISTRO DE MOTOBOMBA 1HP                       | 1        | UN     |
| <u>2.2</u> | CONSTRUCCIÓN DE CASETA PARA BOMBA                 | 1        | UN     |
| <u>2.3</u> | SUMINISTRO E INSTALACIÓN RED DE SUCCIÓN           | 3        | ML     |
| <u>2.4</u> | SUMINISTRO E INSTALACIÓN RED DE IMPULSIÓN         | 301      | ML     |
| <u>2.5</u> | PUNTO ELECTRICO CONEXIÓN DE BOMBA                 | 200      | ML     |
| <b>3</b>   | <b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>                   |          |        |
| <u>3.1</u> | SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TANQUE                | 1        | ML     |
| <b>4</b>   | <b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>                        |          |        |
| <u>4.1</u> | SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE RED PRINCIPAL         | 43       | ML     |
| <u>4.2</u> | SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE RAMALES               | 1039     | ML     |
| <b>5</b>   | <b>RIEGO</b>                                      |          |        |
| <u>5.1</u> | SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GOTERO AUTOCOMPENSADO | 1316     | UND    |

### 8.3.2 Análisis de inversión (Anexo 4)

La identificación de la inversión inicial corresponde al proceso de cuantificación y clasificación de todos los costos necesarios para la puesta en marcha del proyecto. Esta etapa metodológica integra los rubros de adquisición de equipos, materiales, obras civiles, instalación, mano de obra, transporte y costos indirectos asociados a la gestión administrativa y técnica. Su propósito es determinar el monto total de capital requerido desde

el año cero, permitiendo establecer la base económica sobre la cual se proyectan los flujos de caja y se evalúa la rentabilidad mediante indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN). La información utilizada proviene de cotizaciones de mercado, índices oficiales de costos (como los publicados por el ICCU) y referencias técnicas actualizadas, garantizando trazabilidad y realismo en la estimación de la inversión.

Los costos fueron programados de manera mensual o conforme a los requerimientos de cada fase, con el fin de asegurar un flujo financiero equilibrado y una ejecución eficiente de los recursos. Esta metodología permitió reflejar de forma precisa el comportamiento real de la inversión y mantener la trazabilidad económica durante todo el ciclo operativo del proyecto.

La inversión del proyecto se estructuró considerando la totalidad de actividades requeridas para la implementación, operación y sostenibilidad del sistema productivo de maracuyá y piña, con una proyección mensual a cuatro (4) años. En la fase inicial, se incluyeron las actividades de preparación del terreno, adquisición de plántulas, aplicación de fertilizantes y nutrientes, manejo de plagas y enfermedades, y costos de mano de obra, todos necesarios para establecer adecuadamente las condiciones agronómicas del cultivo.

Posteriormente, se incorporaron los componentes de infraestructura agrícola, representados por el sistema de riego por goteo, la compra de herramientas y equipos, la instalación del sistema de tutoría o enredadera, y el mantenimiento periódico del sistema de riego, elementos esenciales para garantizar la eficiencia hídrica y la productividad continua.

Asimismo, el análisis contempla los costos asociados a las actividades de cosecha y postcosecha, como la compra de canastillas para maracuyá, guacales para piña, y los costos logísticos de transporte hacia los centros de acopio (Corabastos) tanto para la producción de maracuyá como para la de piña.

Adicionalmente, se incluyen los costos administrativos y operativos, tales como salarios y beneficios del personal de apoyo, servicios públicos, permisos, licencias e imprevistos, los cuales se distribuyen de manera periódica a lo largo de todo el horizonte de evaluación. Esta estructuración mensual permitió determinar con precisión la evolución del capital invertido, el comportamiento de los flujos de efectivo y la carga financiera del proyecto, sirviendo

como base para la evaluación económica y la proyección de los indicadores de rentabilidad. A continuación, en la tabla 10 se observa la organización de actividades.

*Tabla 10. Capítulos y actividades de inversión*

| <b>ACTIVIDAD</b>                             |
|----------------------------------------------|
| <b>PRODUCCION</b>                            |
| PREPARACION DE TERRENO                       |
| PLANTULAS                                    |
| FERTILIZANTE Y NUTRIENTES                    |
| MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES              |
| MANO DE OBRA                                 |
| <b>INSTALACIONES</b>                         |
| SISTEMA DE RIEGO POR GOTEIO                  |
| HERRAMIENTAS Y EQUIPOS                       |
| SISTEMA DE TUTORIA (ENREDADERA)              |
| MANTENIMIENTO DE RIEGO POR GOTEIO            |
| <b>LOGISTICA</b>                             |
| COMPRA DE CANASTILLAS PARA MARACUYA          |
| COMPRA DE GUACALES PARA PIÑA PRIMERA COSECHA |
| COMPRA DE GUACALES PARA PIÑA SEGUNDA COSECHA |
| COMPRA DE GUACALES PARA PIÑA TERCER COSECHA  |
| COMPRA DE GUACALES PARA PIÑA CUARTA COSECHA  |
| COMPRA DE GUACALES PARA PIÑA QUINTA COSECHA  |
| COMPRA DE GUACALES PARA PIÑA SEXTA COSECHA   |
| TRANSPORTE MARACUYA A CORABASTOS             |
| TRANSPORTE PIÑA A CORABASTOS                 |
| <b>ADMINISTRATIVOS</b>                       |
| SALARIOS Y BENEFICIOS                        |
| SERVICIOS PUBLICOS                           |
| IMPREVISTOS                                  |
| PERMISOS Y LICENCIAS                         |

La asignación de costos a cada actividad de inversión se realizó con base en una recopilación sistemática de información proveniente de fuentes secundarias y locales, con el propósito de garantizar estimaciones realistas y representativas del contexto regional. Para ello, se

consultaron referencias técnicas disponibles en internet, así como bases de datos oficiales y documentos emitidos por entidades gubernamentales y sectoriales, entre ellas la Corporación Autónoma Regional (CAR) y el mercado mayorista de Corabastos, complementadas con información de campo e insumos locales obtenidos directamente en la zona de estudio, adicionalmente el costo del presupuesto previamente calculado.

### **8.3.3 Análisis de viabilidad (Anexo 4)**

El análisis de viabilidad tiene como propósito determinar la factibilidad técnica, económica y financiera del proyecto, evaluando su capacidad para generar beneficios sostenibles en el tiempo. Este estudio integra los resultados del flujo de caja proyectado, los costos de inversión y operación, y los ingresos esperados por cosecha, con el fin de establecer si la ejecución del sistema productivo resulta rentable y eficiente desde el punto de vista económico.

La evaluación considera indicadores clave como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la Relación Beneficio–Costo (B/C) y el periodo de recuperación de la inversión, los cuales permiten analizar la rentabilidad, riesgo y sostenibilidad del proyecto en distintos escenarios. Este enfoque integral proporciona una base sólida para la toma de decisiones, orientada a garantizar la viabilidad financiera y productiva de las actividades agrícolas propuestas.

#### **8.3.3.1 Periodicidad de cosecha y producción**

Para la estimación de los costos de retorno del cultivo de maracuyá se tomó como referencia la información del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el cual señala que la primera cosecha se obtiene aproximadamente ocho meses después de la siembra. A partir de ese momento, el cultivo presenta cosechas para la venta con una frecuencia promedio de cuatro meses. En consecuencia, se proyectaron los ingresos correspondientes a dichos periodos de cosecha. Adicionalmente, de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, bajo condiciones óptimas de manejo agronómico, cada planta de maracuyá produce en promedio 20 kilogramos de fruto por cosecha.

Por otro lado, para la estimación del cultivo de piña variedad Gold se tomó como referencia la información suministrada por FINAGRO, entidad que indica que la primera cosecha se obtiene aproximadamente a los 16 meses después de la siembra. A partir de entonces, el cultivo continúa su ciclo productivo mediante la generación de hijuelos o retoños provenientes de las plantas madre, de los cuales pueden obtenerse entre dos y cuatro por planta, lo que permite nuevas cosechas en intervalos aproximados de seis meses, siempre que se mantengan condiciones agronómicas y de manejo óptimas, donde cada planta produce una piña que pesa en promedio 2.5kg.

### 8.3.3.1 Proyección de costos por cosecha

La proyección de costos de retorno por cosecha se elaboró con base en los ingresos estimados según el rendimiento productivo de cada cultivo y la frecuencia de cosecha. Para ello, se determinaron los volúmenes promedio de producción por planta en condiciones óptimas, los cuales se multiplicaron por los precios de venta proyectados en el mercado mayorista de Corabastos. Dichos valores se calcularon a partir del histórico de precios promedio de los últimos cinco años, sobre el cual se aplicó una regresión lineal con el fin de proyectar los ingresos esperados para los próximos cuatro años. Esta metodología permite estimar con mayor precisión la evolución del retorno económico por ciclo productivo, integrando tanto la variabilidad de precios como la productividad esperada de los cultivos analizados. A continuación, en la tabla 11 encontramos histórico precios maracuyá y en la tabla 12 la proyección, en la tabla 13 el histórico de precios de piña y en la tabla 14 la proyección.

*Tabla 11. Histórico de precios promedio maracuyá (DANE)*

| HISTORICO MARACUYÁ |      |
|--------------------|------|
| 2025               | 4423 |
| 2024               | 3909 |
| 2023               | 3378 |
| 2022               | 3755 |
| 2021               | 2827 |

Tabla 12. proyección de precios maracuyá (Fuente: Propia)

| PROYECCIÓN MARACUYÁ |      |
|---------------------|------|
| 2026                | 4861 |
| 2027                | 5262 |
| 2028                | 5663 |
| 2029                | 6064 |

Tabla 13. histórico de precios promedio Piña (DANE)

| HISTORICO PIÑA |      |
|----------------|------|
| 2025           | 2314 |
| 2024           | 3034 |
| 2023           | 3117 |
| 2022           | 1996 |
| 2021           | 1523 |

Tabla 14. Proyección de precios Piña (Fuente: propia)

| PROYECCIÓN PIÑA |      |
|-----------------|------|
| 2026            | 2997 |
| 2027            | 3197 |
| 2028            | 3398 |
| 2029            | 3600 |

De acuerdo con el área total destinada al cultivo 500 m<sup>2</sup> para maracuyá y 500 m<sup>2</sup> para piña se determinó la cantidad de plantas a establecer en cada lote. En el caso del maracuyá, se calcularon 64 plantas, mientras que para la piña se proyectó una densidad de 1.250 plantas, considerando las distancias recomendadas entre plantas y entre surcos para cada especie.

Esta distribución fue evaluada previamente (ítem estimación de demanda hídrica) con el propósito de optimizar el diseño del sistema de riego, garantizando una cobertura uniforme del terreno, una adecuada eficiencia hídrica y un desarrollo homogéneo de los cultivos durante las diferentes etapas de crecimiento.

### 8.3.3.2 Flujo de caja anual y acumulado

Una vez determinados los costos de inversión y los ingresos proyectados, tanto en su componente mensual como anual, se procedió a calcular el flujo de caja del proyecto. Para

ello, se efectuó la diferencia entre los ingresos y los egresos correspondientes a cada periodo, obteniendo así el flujo neto mensual, el cual refleja la liquidez operativa del sistema productivo.

Posteriormente, se consolidaron estos valores en un flujo de caja anual, que permitió identificar la evolución financiera del proyecto a lo largo del horizonte de evaluación. A partir de estos resultados, se construyó el flujo de caja acumulativo, sumando los saldos netos de cada periodo con el propósito de analizar la recuperación del capital invertido y la rentabilidad progresiva del proyecto.

Esta estructura de análisis facilita la interpretación del comportamiento financiero general, permitiendo evaluar la sostenibilidad económica del sistema agrícola y el desempeño de las inversiones a lo largo del tiempo.

#### **8.3.3.3 TIO Y TIR**

Para la evaluación financiera del proyecto se calcularon la Tasa Interna de Oportunidad (TIO) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), indicadores esenciales para analizar la rentabilidad y competitividad económica del sistema productivo.

En el caso de la TIO, esta se definió como la rentabilidad mínima esperada para proyectos del sector agropecuario, utilizada como referencia para comparar la conveniencia de la inversión frente a otras alternativas del mercado. Su valor se determinó tomando en cuenta las tasas promedio de colocación crediticia para proyectos agrícolas en Colombia, publicadas por FINAGRO y complementadas con las tasas de interés de referencia del Banco de la República. De acuerdo con los lineamientos de evaluación financiera en el ámbito rural, la TIO representa el costo de oportunidad del capital invertido y suele oscilar entre el 10 % y el 15 % anual, dependiendo del nivel de riesgo, la escala del proyecto y las condiciones de financiamiento (FINAGRO, 2023).

Por su parte, la TIR se obtuvo a partir del flujo de caja proyectado, utilizando procedimientos iterativos para hallar la tasa de descuento que hace que el Valor Presente Neto (VPN) sea igual a cero. Este indicador expresa la rentabilidad interna del proyecto, mostrando el porcentaje de retorno que genera la inversión considerando los ingresos, costos y gastos a lo largo del horizonte de evaluación.

### 8.3.3.4 Costos ABC

El proceso de costeo se realizó aplicando la metodología ABC (Activity-Based Costing), mediante la cual se identificaron y clasificaron las actividades productivas, de instalación, logística y administrativas del proyecto. Cada actividad se analizó según su nivel de participación y consumo de recursos, asignando los costos directos a cada cultivo y distribuyendo los indirectos de forma proporcional. Una vez clasificadas las actividades, se procedió a asignar los costos según su naturaleza y nivel de participación en cada cultivo como se observa en la tabla 15.

Tabla 15. Distribución de actividades para costeo ABC

| Categoría              | Actividad                                | Costo (COP) | Asignación |      |
|------------------------|------------------------------------------|-------------|------------|------|
|                        |                                          |             | Maracuyá   | Piña |
| <b>Producción</b>      | Preparación de terreno                   | 5.000.000   | 10%        | 90%  |
|                        | Plántulas                                | 503.000     | 50%        | 50%  |
|                        | Fertilizantes y nutrientes               | 2.400.000   | 50%        | 50%  |
|                        | Manejo de plagas y enfermedades          | 2.400.000   | 50%        | 50%  |
|                        | Mano de obra                             | 11.349.998  | 20%        | 80%  |
| <b>Instalaciones</b>   | Herramientas y equipos                   | 1.200.000   | 50%        | 50%  |
|                        | Sistema de tutoría (enredadera)          | 3.000.000   | 100%       | 0%   |
|                        | Mantenimiento de riego por goteo         | 800.000     | 20%        | 80%  |
| <b>Logística</b>       | Compra de canastillas maracuyá           | 3.584.000   | 100%       | 0%   |
|                        | Compra de guacales piña (todas cosechas) | 15.000.000  | 0%         | 100% |
|                        | Transporte piña a Corabastos             | 3.600.000   | 0%         | 100% |
|                        | Transporte maracuyá a Corabastos         | 3.600.000   | 100%       | 0%   |
| <b>Administrativos</b> | Salarios y beneficios                    | 77.928.000  | 30%        | 70%  |
|                        | Servicios públicos                       | 4.000.000   | 50%        | 50%  |
|                        | Imprevistos                              | 2.400.000   | 50%        | 50%  |
|                        | Permisos y licencias                     | 1.200.000   | 50%        | 50%  |

#### **8.4 Análisis de replicabilidad**

El análisis de replicabilidad se desarrolló mediante un enfoque metodológico de carácter técnico-comparativo, orientado a establecer las condiciones necesarias que permiten la aplicación del modelo de riego tecnificado por goteo en contextos productivos distintos al del municipio de Nimaima, Cundinamarca. Para ello, se identificaron y evaluaron los criterios mínimos de semejanza agroclimática, hidrológica, edáfica, económica y operativa, con el fin de determinar la factibilidad de reproducir los resultados obtenidos bajo condiciones similares de terreno, recurso hídrico y clima.

La metodología se fundamentó en la observación de variables físicas y técnicas del sistema original, complementadas con información secundaria proveniente de fuentes oficiales (IDEAM, FAO, ICA, y MinAgricultura) y literatura científica sobre la implementación de sistemas de riego en cultivos tropicales. A partir de esta base, se establecieron rangos de referencia cuantitativos y cualitativos como temperatura, precipitación, pendiente y caudal disponible que condicionan la operatividad y el rendimiento del sistema replicado.

Finalmente, se integró un análisis económico comparativo, sustentado en los indicadores de inversión, costos de operación y márgenes de rentabilidad calculados para el caso de Nimaima, con el propósito de determinar la viabilidad técnica y financiera de la réplica en otros entornos rurales. Este procedimiento permitió formular un conjunto de requisitos mínimos y parámetros verificables que aseguran la sostenibilidad del modelo y su adaptación a distintos escenarios agrícolas del país.

## **9. RESULTADOS**

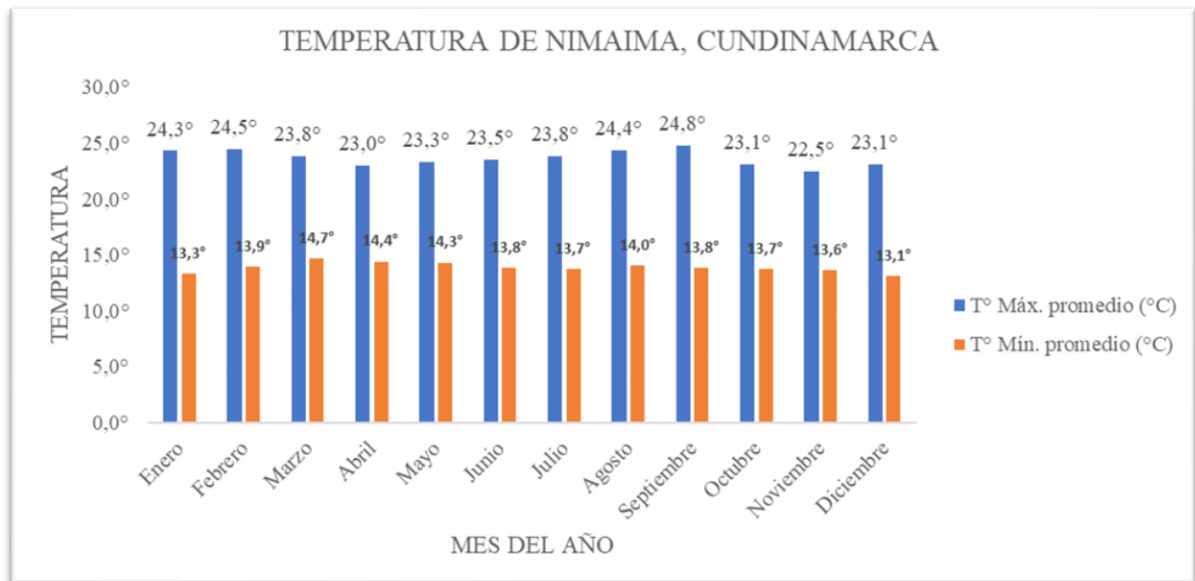
La presente sección consolida los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto, derivados del proceso de diseño, modelación y evaluación técnica-económica implementado. Los resultados corresponden a la fase de verificación de desempeño de los sistemas hidráulicos, energéticos y económicos previamente dimensionados, con el fin de validar la coherencia entre los valores proyectados en la etapa de planeación y los datos reales observados en operación.

Desde el enfoque metodológico, los resultados permiten cuantificar la eficiencia técnica, la viabilidad económica y el cumplimiento de los indicadores de desempeño, tales como la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Presente Neto (VPN) y el comportamiento del flujo de caja del sistema. Estos indicadores proporcionan una lectura objetiva sobre la sostenibilidad del proyecto y su capacidad para generar valor sobre la inversión inicial.

Operativamente, esta sección busca demostrar la trazabilidad entre los objetivos planteados y los logros alcanzados, evidenciando los impactos positivos en productividad, uso eficiente de los recursos y optimización de los costos de operación. La interpretación de los resultados, acompañada de los análisis gráficos y comparativos, servirá como base para la toma de decisiones, la mejora continua del modelo y la transferencia de conocimiento hacia futuros desarrollos de ingeniería sostenible.

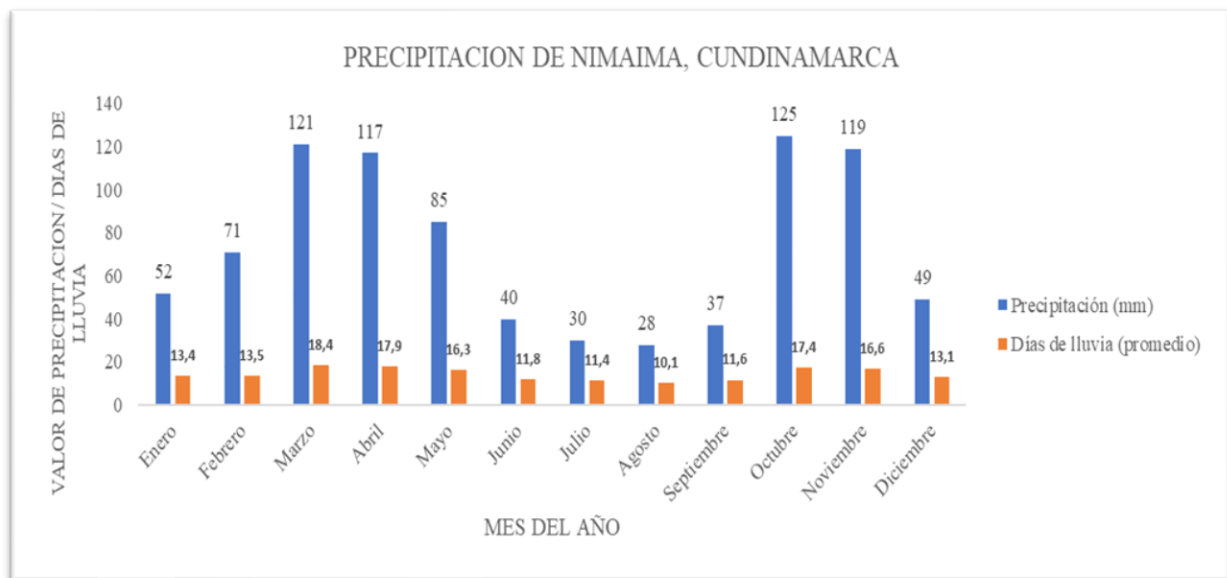
### **9.1 Caracterización territorio**

La temperatura de Nimaima Cundinamarca en promedio es de 18°C, alcanzando temperaturas máximas de 24,5°C y temperaturas mínimas de 13°C, lo que convierte a Nimaima en un entorno privilegiado para la agricultura, especialmente de cultivos tropicales como la piña y el maracuyá.



Gráfica 2.temperatura Nimaima Cundinamarca

En promedio, el municipio recibe entre 1.500 y 1.600 mm de precipitación al año, una cifra que coincide con los valores reportados para toda la Provincia del Gualivá, donde el promedio anual ronda los 1.500 mm.



Gráfica 3. Precipitación Nimaima Cundinamarca

El municipio de Nimaima (Cundinamarca) cuenta con una oferta hídrica abundante y diversificada, conformada por ríos, quebradas y nacimientos distribuidos a lo largo de sus

veredas rurales como se observa en la tabla 16. Esta red natural hídrica garantiza una disponibilidad de agua suficiente para el desarrollo de sistemas de riego y la implementación sostenible de cultivos agrícolas durante todo el año. La presencia de afluentes permanentes, como el río Negro y el río Tobia, junto con múltiples microcuencas locales, permite el aprovechamiento racional del recurso hídrico mediante captaciones de bajo impacto y almacenamiento temporal. En conjunto, estas condiciones consolidan a Nimaima como un territorio con alto potencial agro productivo, apto para la expansión de cultivos tropicales y frutales que demandan suministro hídrico continuo y controlado.

*Tabla 16. Fuentes Hídricas Nimaima Cundinamarca (Autoría propia)*

| <b>Nombre</b>                        | <b>Tipo</b>   | <b>Ubicación / Vereda asociada</b>       | <b>Uso principal</b>                      | <b>Observaciones técnicas</b>                                                                       |
|--------------------------------------|---------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Río Negro                            | Río principal | Cuenca mayor, límite oriental de Nimaima | Abastecimiento regional, recarga, turismo | Cuenca principal del sistema; pendiente media alta, respuesta rápida a lluvias intensas.            |
| Río Tobia                            | Río afluente  | Inspección de Tobia                      | Riego, pesca, turismo                     | Afluente importante del Río Negro; caudales aprovechables en temporada seca.                        |
| Río Pinzaima                         | Río afluente  | Límite Vergara–Nimaima                   | Uso recreativo, riego                     | Curso lateral con potencial agropecuario; pendiente media.                                          |
| Quebrada La Berbería                 | Quebrada      | Tobia                                    | Abastecimiento acueducto veredal          | Fuente directa del acueducto rural de Tobia; caudal estable todo el año.                            |
| Quebrada El Gallinazo                | Quebrada      | Nimaima urbano y rural                   | Riego y drenaje agrícola                  | Presentó represamiento y sobreflujo durante lluvias; requiere mantenimiento de cauce.               |
| Quebrada El Tigre                    | Quebrada      | Veredas La Sierra y Barandillas          | Riego, ecoturismo                         | Afluente con cascadas naturales; atraviesa varias fincas.                                           |
| Quebrada La Negra                    | Quebrada      | Sector sur-occidental de Nimaima         | Conducción natural hacia Río Negro        | Subcuenca prioritaria por erosión y arrastre de sedimentos.                                         |
| Nacimientos veredales                | Manantiales   | Barandillas, Tobia, San Roque, La Sierra | Abrevadero, riego por gravedad            | Diversos nacimientos permanentes y temporales en laderas; no estandarizados en cartografía oficial. |
| Quebradas menores sin nombre oficial | Microcuencas  | Predios rurales dispersos                | Riego, recarga local                      | Pequeños cursos intermitentes que cruzan fincas; se recomiendan franjas de protección de 30 m.      |

## 9.2 Diseño hidráulico

Considerando el área disponible destinada a cada cultivo, la siguiente tabla presenta las especificaciones de distribución y la cantidad de plantas asignadas conforme a dicha distribución.

Tabla 17. Especificaciones de distribución (Autoría propia)

| ESPECIFICACIONES DE DISTRIBUCIÓN |                            |                |
|----------------------------------|----------------------------|----------------|
| ITEM                             | DESCRIPCIÓN                | ESPECIFICACIÓN |
| 1                                | <b>ÁREA DE CULTIVO</b>     |                |
| 1.1                              | LARGO                      | 38 m           |
| 1.2                              | ANCHO                      | 28m            |
| 1.3                              | ÁREA DE CULTIVO            | 1000 m2        |
| 2                                | <b>MARACUYÁ</b>            |                |
| 2.1                              | ÁREA DE CULTIVO            | 500 M2         |
| 2.2                              | ESPACIO ENTRE PLANTAS      | 2.5 m          |
| 2.3                              | ESPACIAMIENTO ENTRE SURCOS | 3.0 m          |
| 2.4                              | CANTIDAD DE PLANTAS        | 64             |
| 3                                | <b>PIÑA</b>                |                |
| 3.1                              | ÁREA DE CULTIVO            | 500 m2         |
| 3.2                              | ESPACIO ENTRE PLANTAS      | 0.5m           |
| 3.3                              | ESPACIAMIENTO ENTRE SURCOS | 0.8m           |
| 3.4                              | CANTIDAD DE PLANTAS        | 1250           |

La siguiente tabla muestra los requerimientos hidráulicos para cada cultivo

Tabla 18. Requerimientos Hidráulicos (Autoría propia)

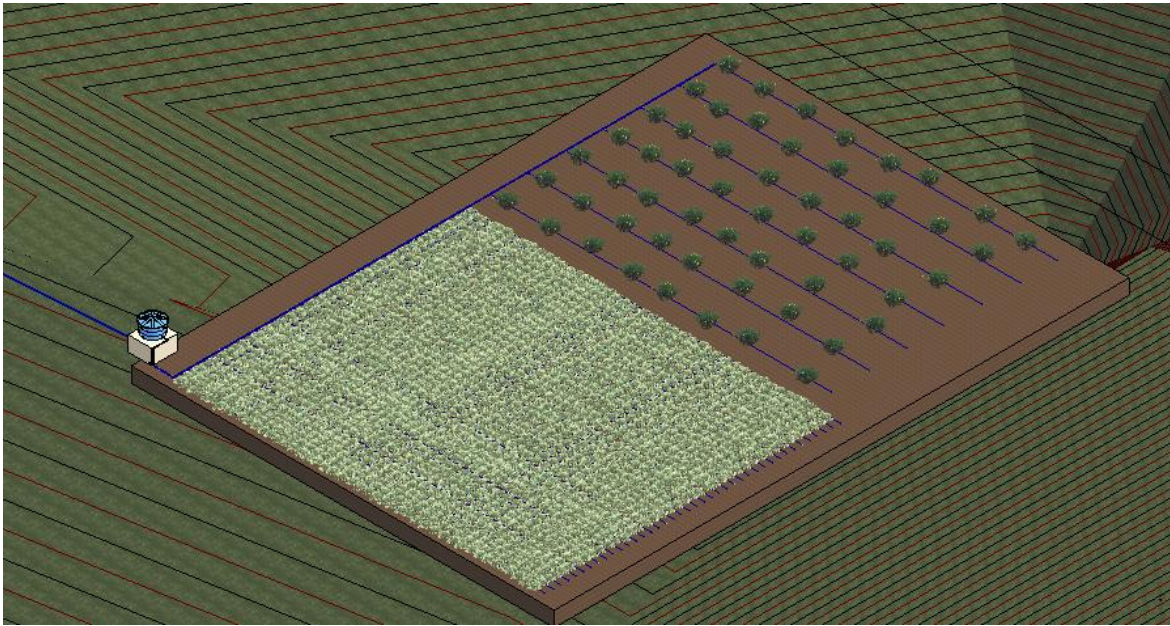
| REQUERIMIENTOS HIDRAULICOS  |                             |                      |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| ITEM                        | DESCRIPCIÓN                 | ESPECIFICACIÓN       |
| 1                           | <b>MARACUYÁ</b>             |                      |
| 1.1                         | CANTIDAD DE AGUA POR PLANTA | 6.81 L/día           |
| 1.2                         | CANTIDAD DE AGUA TOTAL      | 435.84 L/día         |
| 2                           | <b>PIÑA</b>                 |                      |
| 2.1                         | CANTIDAD DE AGUA POR PLANTA | 6.53 L/día           |
| 2.2                         | CANTIDAD DE AGUA TOTAL      | 8,097 L/día          |
| 3                           | <b>TOTAL, CULTIVO</b>       |                      |
| 3.1                         | TOTAL DE AGUA CULTIVO       | 8,800 L/día          |
| 4                           | <b>TOTAL ALMACENAMIENTO</b> |                      |
| 4.1                         | DIARIO                      | 17,600 L/día         |
| 4.2                         | REQUERIDO PARA 2 DIAS       | 17,600 L/día         |
| 1.1                         | FACTOR DE SEGURIDAD         | 1.2                  |
| 1.1                         | REQUERIDO PARA 2 DIAS       | 21,120 L             |
| <b>CAPACIDAD DEL TANQUE</b> |                             | <b>21,200 LITROS</b> |

La siguiente tabla nos muestra el resultado de los cálculos hidráulicos realizados por la metodología flamant, donde se indica los diámetros de tuberías para cada tramo, potencia de la bomba.

Tabla 19. Especificación de instalaciones (Autoría propia)

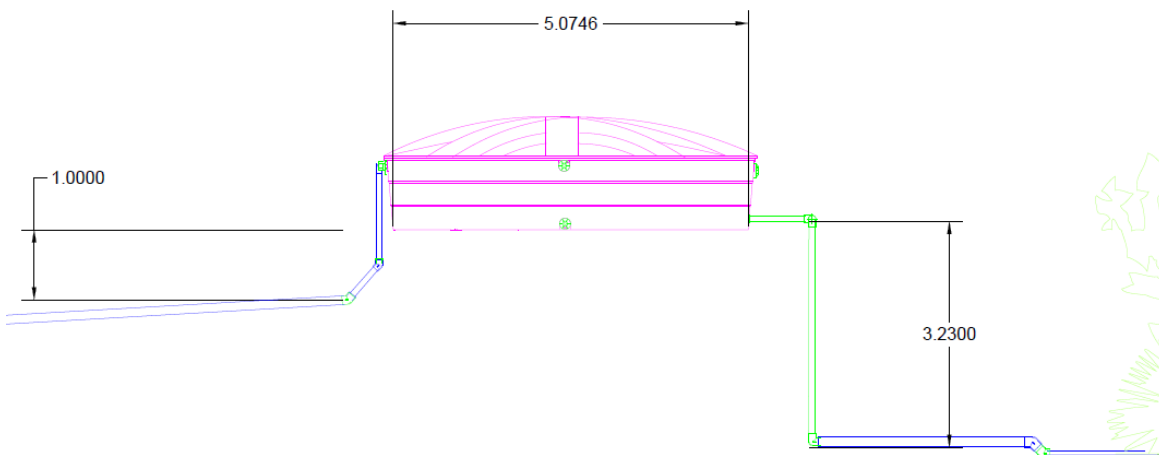
| <b>CALCULOS HIDRAULICOS POR FLAMANT</b> |                                 |                |
|-----------------------------------------|---------------------------------|----------------|
| ITEM                                    | DESCRIPCIÓN                     | ESPECIFICACIÓN |
| <b>1</b>                                | <b>BOMBEO</b>                   |                |
| 1.1                                     | SUCCIÓN                         | 1 1/2"         |
| 1.2                                     | IMPULSIÓN                       | 1 1/4"         |
| 1.3                                     | BOMBA                           | 1 Hp           |
| <b>2</b>                                | <b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b> |                |
| 2.1                                     | TANQUE                          | 20.000 L       |
| 2.2                                     | ALTURA DEL TANQUE               | 3.23 m         |
| <b>3</b>                                | <b>RED PRINCIPAL</b>            |                |
| 3.                                      | RED DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL   | 1 1/2"         |
| <b>4</b>                                | <b>RAMALES</b>                  |                |
| 4.1                                     | RAMALES PARA MARACUYA           | 1/2"           |
| 4.2                                     | RAMALES PARA PIÑA               | 1/2"           |
| <b>5</b>                                | <b>RIEGO</b>                    |                |
| 5.1                                     | GOTEROS AUTOCOMPENSADOS         | 2 L/h          |

Como resultado del proceso de modelado en software, se obtuvo un modelo tridimensional (3D) que representa de manera realista el sistema de riego, mostrando su disposición espacial y funcionalidad adaptada a las condiciones reales de la finca *El Encanto*. A continuación, se muestra un panorama general, sin embargo, el diseño completo se puede encontrar en el anexo 1.

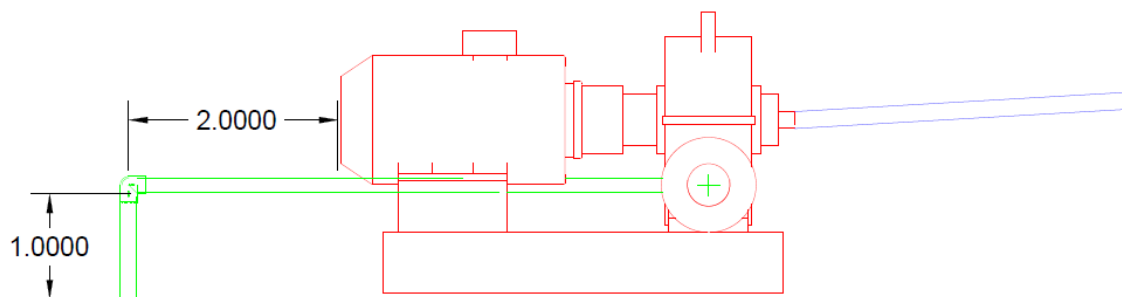


*Ilustración 7. Distribución general del cultivo (Autoría propia)*

Como resultado del diseño en 2D, se obtuvo el perfil del sistema, en el cual se representan las diferentes cotas y variaciones de altura presentes en el terreno. Este diseño se encuentra en el anexo 2.



*Ilustración 8. Perfil Alturas y dimensión de tanque (Autoría propia)*



*Ilustración 9. Perfil tramo de succión (Autoría propia)*

### **9.3 Modelo económico**

#### **9.3.1 Resultados APU y presupuesto**

El análisis de precios unitarios (APU) y el presupuesto general reflejan una inversión total de \$29.286.394,65 para la implementación del sistema de riego. Los mayores costos se concentran en la red de distribución (39 %), el tanque de almacenamiento (28 %) y el sistema de captación y bombeo (15 %), evidenciando que el componente hidráulico representa más del 80 % del valor total. Estos resultados confirman la viabilidad económica y técnica del proyecto, con una estructura de costos coherente con los precios locales de referencia y las condiciones del terreno en Nimaima. Los APU completos y presupuesto se encuentran en el Anexo 3.

Tabla 20. Presupuesto sistema de rego (Autoría propia)

| ITEM                | DESCRIPCIÓN                                       | CANTIDAD | UNIDAD | SUBTOTAL POR CAPITULO   |
|---------------------|---------------------------------------------------|----------|--------|-------------------------|
| <b>1</b>            | <b>PRELIMINARES</b>                               |          |        | <b>\$ 1.845.464</b>     |
| <u>1,1</u>          | REPLANTEO Y LOCALIZACIÓN                          | 80       | ML     |                         |
| <u>1,2</u>          | DESCAPOTE Y LIMPIEZA                              | 1000     | M2     |                         |
| <u>1,3</u>          | TRASIEGO DE MATERIAL                              | 1        | VJ     |                         |
| <u>1,4</u>          | ALISTAMIENTO DE BASE PARA TANQUE                  | 36       | UN     |                         |
| <b>2</b>            | <b>CAPTACIÓN Y BOMBEO</b>                         |          |        | <b>\$ 4.241.994</b>     |
| <u>2,1</u>          | SUMINISTRO DE MOTOBOMBA 1HP                       | 1        | UN     |                         |
| <u>2,2</u>          | CONSTRUCCIÓN DE CASETA PARA BOMBA                 | 1        | UN     |                         |
| <u>2,3</u>          | SUMINISTRO E INSTALACIÓN RED DE SUCCIÓN           | 3        | ML     |                         |
| <u>2,4</u>          | SUMINISTRO E INSTALACIÓN RED DE IMPULSIÓN         | 301      | ML     |                         |
| <u>2,5</u>          | PUNTO ELECTRICO CONEXIÓN DE BOMBA                 | 200      | ML     |                         |
| <b>3</b>            | <b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>                   |          |        | <b>\$ 8.293.000</b>     |
| <u>3,1</u>          | SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TANQUE                | 1        | ML     |                         |
| <b>4</b>            | <b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>                        |          |        | <b>\$ 11.493.902</b>    |
| <u>4,1</u>          | SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE RED PRINCIPAL         | 43       | ML     |                         |
| <u>4,2</u>          | SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE RAMALES               | 1039     | ML     |                         |
| <b>5</b>            | <b>RIEGO</b>                                      |          |        | <b>\$ 749.635</b>       |
| <u>5,1</u>          | SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GOTERO AUTOCOMPENSADO | 1316     | UND    |                         |
| SUBTOTAL            |                                                   |          |        | <b>\$ 26.623.995,14</b> |
| ADMINISTRACIÓN (2%) |                                                   |          |        | <b>\$ 532.479,90</b>    |
| IMPREVISTOS (2%)    |                                                   |          |        | <b>\$ 532.479,90</b>    |
| UTILIDAD (6%)       |                                                   |          |        | <b>\$ 1.597.439,71</b>  |
| <b>TOTAL</b>        |                                                   |          |        | <b>\$ 29.286.394,65</b> |

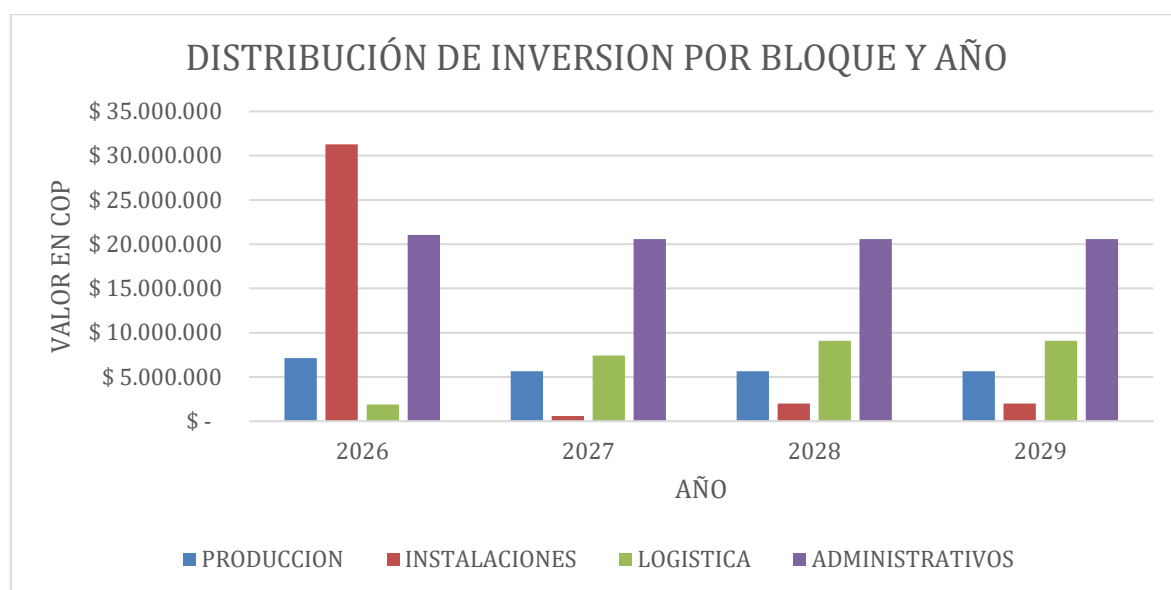
### 9.3.2 Resultados inversión

Durante el primer año (2026) se evidencia la mayor inversión debido a la instalación inicial del sistema de riego por goteo y demás infraestructuras requeridas para la producción. En los años siguientes, los costos disminuyen y se estabilizan, representando principalmente gastos de mantenimiento, logística operativa y administración. Esto permite que el flujo de caja sea negativo al inicio pero mejore progresivamente a partir de la entrada en producción de la piña y el maracuyá.

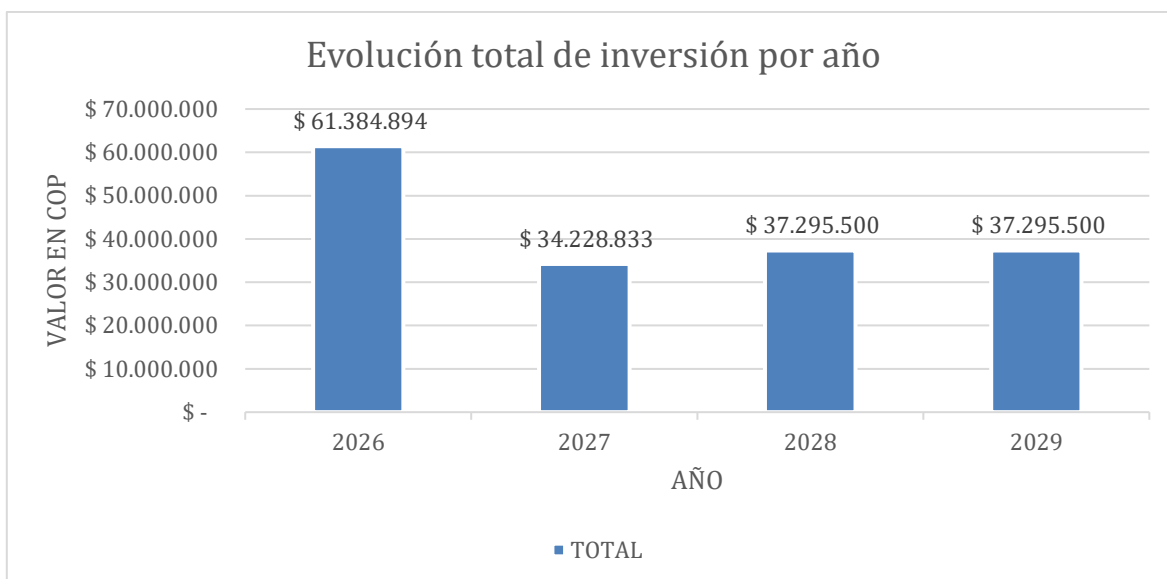
Tabla 21. Flujo de caja anual y acumulado (2026–2029) Autoría propia

| AÑO  | PRODUCCION   | INSTALACIONES | LOGISTICA    | ADMINISTRATIVOS | TOTAL         |
|------|--------------|---------------|--------------|-----------------|---------------|
| 2026 | \$ 7.140.500 | \$ 31.739.857 | \$ 2.152.000 | \$ 21.622.000   | \$ 62.654.357 |
| 2027 | \$ 5.637.500 | \$ 600.000    | \$ 7.685.333 | \$ 20.562.000   | \$ 34.484.833 |
| 2028 | \$ 5.637.500 | \$ 2.000.000  | \$ 9.352.000 | \$ 20.622.000   | \$ 37.611.500 |
| 2029 | \$ 5.637.500 | \$ 2.000.000  | \$ 9.352.000 | \$ 20.622.000   | \$ 37.611.500 |

Como se observa en la tabla anterior, la mayor carga económica se concentra en el bloque de instalaciones durante el primer año, debido a que incluye la implementación del sistema de riego y demás componentes de infraestructura. En los años siguientes, la estructura de costos se mantiene más estable, destacando gastos logísticos y administrativos relacionados con la operación continua de la finca productiva.



Gráfica 4. Distribución De Inversión Por Bloque Y Año (Autoría propia)



Gráfica 5. Evolución Total de Inversión Por Año (Autoría propia)

En términos de planeación financiera, este comportamiento permite estructurar esquemas de financiamiento flexibles, priorizando las inversiones de infraestructura en la fase inicial y los costos de mantenimiento en las fases posteriores. Esta estrategia reduce la presión de caja inicial y mejora la capacidad de recuperación de la inversión a mediano plazo.

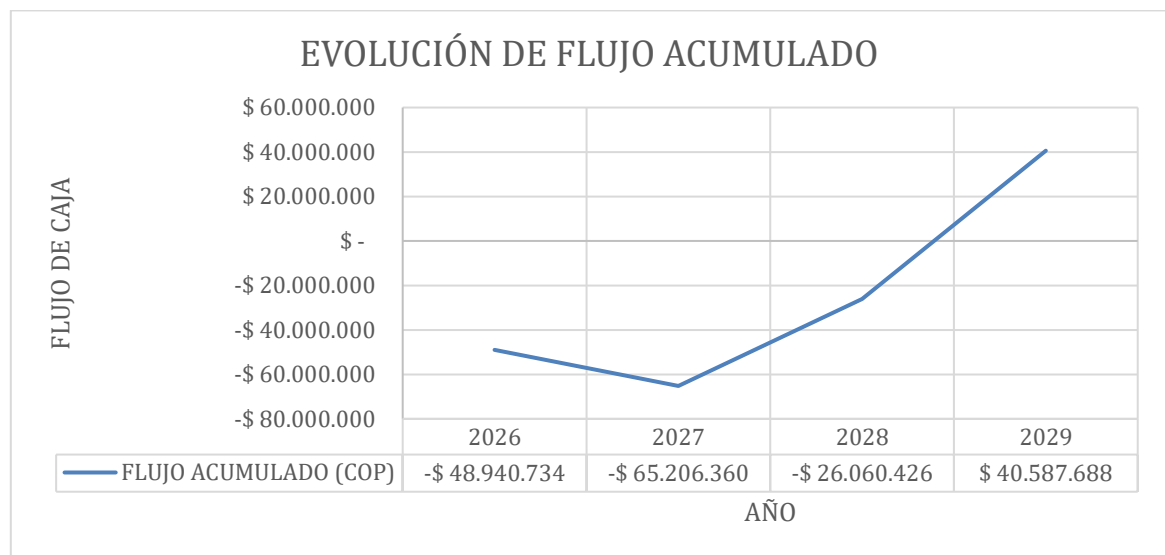
### 9.3.3 Resultados Viabilidad

El análisis económico realizado para el proyecto de implementación de un sistema de riego por goteo en cultivos de piña y maracuyá en el municipio de Nimaima, Cundinamarca, evidencia un comportamiento financiero que se alinea con las dinámicas productivas propias de los frutales. En los primeros dos años, el flujo de caja es negativo debido a que se concentran las inversiones iniciales en infraestructura, compra de plántulas, adecuación de terreno y establecimiento del sistema de riego. A partir del tercer año se inicia un crecimiento sostenido en la generación de ingresos, impulsado por la entrada en producción de la piña (variedad Golden ) y la estabilización de la cosecha de maracuyá.

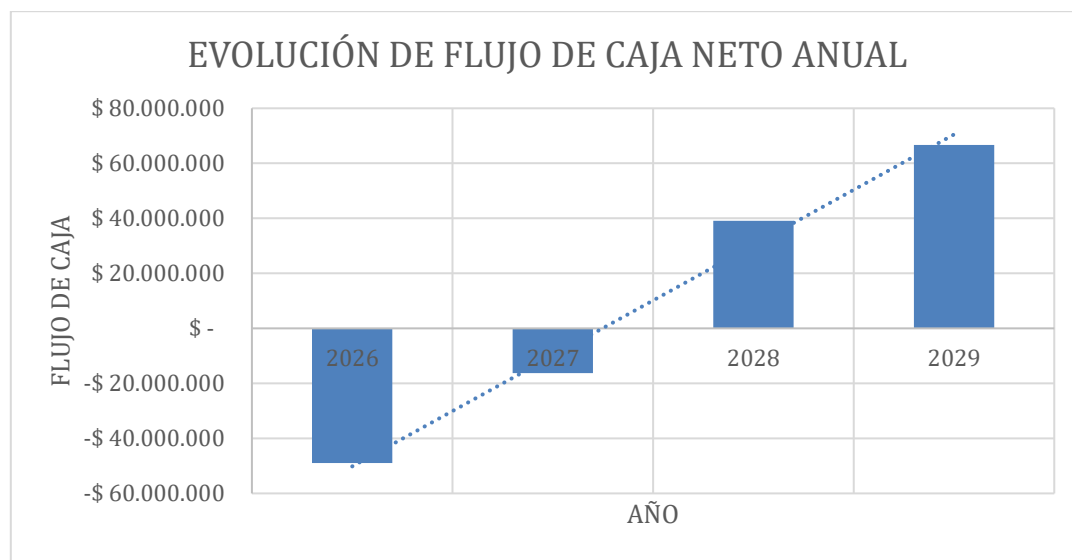
Tabla 22. Flujo de caja anual y acumulado (2026–2029)(Autoría propia)

| AÑO  | FLUJO NETO ANUAL (COP) | FLUJO ACUMULADO (COP) |
|------|------------------------|-----------------------|
| 2026 | -\$ 48.940.734         | -\$ 48.940.734        |
| 2027 | -\$ 16.265.627         | -\$ 65.206.360        |
| 2028 | \$ 39.145.934          | -\$ 26.060.426        |
| 2029 | \$ 66.648.114          | \$ 40.587.688         |

La tabla anterior presenta la evolución anual del flujo de caja y su acumulado. Se observa que los años 2026 y 2027 tienen valores negativos debido a las inversiones iniciales. A partir de 2028 se registra un incremento significativo, reflejando el ingreso por las primeras cosechas de piña y la producción continua de maracuyá. En 2029, con \$66.648.114 de flujo neto, se alcanza un acumulado de \$40.587.688, lo que marca el punto de consolidación económica del proyecto.



Gráfica 6. Evolución del Flujo Acumulado (Autoría propia)



Gráfica 7. Evolución del Flujo de Caja Neto Anual (autoría propia)

Este comportamiento positivo se ve respaldado por una Tasa Interna de Retorno (TIR) proyectada del 23 %, que supera ampliamente la Tasa de Oportunidad (10 %). Esto indica que el proyecto es rentable y sostenible en el tiempo. Además, la diversificación entre maracuyá y piña mejora la estabilidad financiera y reduce riesgos productivos. Estos resultados fortalecen la justificación técnica y económica para implementar el sistema de riego propuesto.

#### 9.3.4 Resultados Costeo ABC

El análisis de costos mediante la metodología ABC (Activity-Based Costing) evidenció diferencias significativas en la estructura económica de los dos cultivos evaluados. El cultivo de piña registró un costo promedio de \$1.481 por kilogramo, mientras que el maracuyá alcanzó un costo de \$3.439 por kilogramo. Esta variación se explica principalmente por la escala de producción y los requerimientos técnicos específicos de cada cultivo. La piña, con una mayor densidad de siembra y volumen de cosecha, logra distribuir más eficientemente los costos fijos, especialmente los asociados a la preparación del terreno y al sistema de riego. En contraste, el maracuyá demanda mayores costos por unidad de producción debido al uso de estructuras de tutoría, empaques diferenciados y menor rendimiento por área cultivada. En conjunto, los resultados confirman que ambos cultivos son financieramente viables, aunque la piña presenta un mejor desempeño en

términos de eficiencia productiva y costo unitario. Producción de costos por kilogramo encierra los 4 años proyectados.

*Tabla 23. Costo de producción por kg (Autoría propia)*

| <b>Cultivo</b>  | <b>Costo total (COP)</b> | <b>Producción (kg)</b> | <b>Costo por kg (COP/kg)</b> |
|-----------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>Piña</b>     | 94.421.098               | 50.000                 | <b>\$ 1.888</b>              |
| <b>Maracuyá</b> | 43.543.900               | 17.920                 | <b>\$ 2.430</b>              |

Sin embargo, la ganancia por kilogramo resulta superior en el cultivo de maracuyá, tal como se evidencia en la siguiente tabla comparativa. La ganancia por kilo es un promedio de los 4 años de producción.

*Tabla 24. Ganancia por Kg (Autoría propia)*

| <b>Cultivo</b>  | <b>Costo total venta (COP)</b> | <b>Producción (kg)</b> | <b>Costo venta por kg (COP/kg)</b> | <b>Costo ganancia por Kg (COP/kg)</b> |
|-----------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Piña</b>     | \$ 171.175.000,00              | 50.000                 | <b>\$ 3.424</b>                    | \$ 1.535                              |
| <b>Maracuyá</b> | \$ 99.427.840,00               | 17.920                 | <b>\$ 5.548</b>                    | \$ 3.119                              |

## 9.4 Análisis de replicabilidad

### Condiciones climáticas

Para la replicación del sistema, el área seleccionada debe cumplir con las siguientes características:

- Temperatura media anual: entre 18 °C y 26 °C, rango que asegura un desarrollo óptimo de los cultivos de maracuyá y piña, y una operación eficiente del sistema de goteo.
- Precipitación anual: entre 1.000 y 2.500 mm, distribuida en dos periodos de lluvia y dos de sequía, de manera que el sistema de riego funcione como complemento y no como única fuente de agua.
- Altitud recomendada: entre 900 y 1.300 m s. n. m., zonas propias de clima templado cálido.

- Evapotranspiración potencial: entre 3 y 5 mm/día
- Humedad relativa: mayor al 60 %, lo que reduce las pérdidas por evaporación directa.

#### **Condiciones hidrológicas**

- Debe existir una fuente de agua superficial o subterránea disponible durante todo el año, con un caudal mínimo de 1 L/s por cada 1.000 m<sup>2</sup> de cultivo.
- Se recomienda la instalación de un tanque de almacenamiento con capacidad para más de un día.

#### **Condiciones del terreno**

- Superficie mínima: 1.000 m<sup>2</sup> (0,1 ha) para garantizar la eficiencia hidráulica del sistema y una rentabilidad operativa sostenible.
- Garantizar altura del tanque de reserva que asegure la presión adecuada
- Antes de la instalación, el terreno debe estar nivelado y libre de residuos orgánicos o piedras, para asegurar una correcta disposición de las líneas de goteo.

#### **Componentes básicos del sistema**

- Tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) para la red principal y secundaria.
- Goterros autocompensantes de 2 L/h los cuales garantizan una distribución uniforme del caudal y mantienen la presión constante a lo largo de las líneas de riego, evitando encharcamientos o excesos de humedad en el cultivo.
- Bomba centrífuga de 0.5 hp para altura geométricas menores a 20m, 1hp para alturas entre 20 y 33m, si se exceden estos valores se debe recalcular la potencia requerida.
- Se recomienda uso de tanque tipo australiano para evitar sobrecostos en instalación de riego

#### **Condiciones generales**

- Acceso vial adecuado: el predio debe estar conectado mediante carreteras rurales transitables durante todo el año, que permitan el transporte de materiales para la instalación del sistema, así como la salida oportuna de la producción cosechada hacia los centros de acopio o comercialización.

- Apoyo institucional: el área de intervención debe contar con acceso a programas de fomento agropecuario, líneas de crédito o asistencia técnica promovidas por entidades como Finagro, ICA, SENA o las Secretarías de Agricultura o Banco Agrario.
- Capital humano: se requiere disponibilidad de mano de obra local capacitada o entrenable en la operación y mantenimiento del sistema de riego y el cultivo.

## 10. CONCLUSIONES

- Las condiciones agroclimáticas de Nimaima constituyen un habilitador estructural para la tecnificación agrícola, dado que la estabilidad térmica (18 °C en promedio) y la disponibilidad constante de fuentes hídricas configuran un ecosistema propicio para cultivos de alto rendimiento como maracuyá y piña. A partir de estos atributos se infiere que el municipio posee el perfil ideal para evolucionar hacia esquemas de producción industrializada basados en riego tecnificado, almacenamiento modular y bombeo centralizado. Este proyecto, por tanto, actúa como un precedente técnico demostrable para la transición del municipio hacia modelos agrícolas más eficientes y escalables.
- El diseño hidráulico propuesto demostró que es posible implementar un sistema de riego tecnificado por goteo en condiciones agroclimáticas propias del municipio de Nimaima, garantizando la eficiencia en el uso del recurso hídrico y la homogeneidad en la distribución del caudal. La selección de materiales tubería de polietileno de alta densidad, goteros autocompensantes de 2 L/h, bomba centrífuga y tanque australiano respondió a criterios de rendimiento hidráulico, durabilidad y costo-beneficio frente a alternativas convencionales, generando un costo total para la implementación de \$29.286.395 siendo un valor conservador dentro del rango de diseño.
- La inversión inicial se recupera en el año 3, garantizando un flujo neto acumulado positivo a partir del tercer año. Esto evidencia la autosuficiencia económica del proyecto y su capacidad de generar excedentes reinvertibles sin depender de subsidios o créditos adicionales.
- El proyecto demuestra una rentabilidad superior al costo de oportunidad del capital, reflejando un TIR del 23% frente a una TIO del 10%, lo que evidencia su viabilidad económica.
- Desde el análisis financiero, evidenciamos una TIR del 23% impulsada por la relación entre precios de mercado y densidad de siembra. Aunque el maracuyá mantiene un precio unitario históricamente superior, en este caso la piña representa la mayor ganancia total debido a su densidad de cultivo: aproximadamente 1.000 plantas frente a 64 plantas de maracuyá. Esto permite inferir que el desempeño económico depende no solo del precio por kilogramo, sino de la composición

estratégica del número de plantas por variedad. En consecuencia, una de las conclusiones centrales del estudio es que se requiere optimizar el balance entre plantas de piña y maracuyá para gestionar la variabilidad del rendimiento y maximizar la rentabilidad del sistema.

- La producción de piña es menos costo que el maracuyá debido a su densidad en cuanto a cantidad de plantas, ya que el maracuyá por sus requerimientos de espacio son menos cantidad de plantas.
- La integración de eficiencia hídrica, reducción de pérdidas operativas y uso racional de insumos genera un impacto directo en la reducción de costos recurrentes. En consecuencia, el sistema no solo es rentable en el corto plazo, sino económicamente sostenible y escalable en el tiempo, pudiendo ampliarse a mayores áreas de cultivo o replicarse en otros municipios con condiciones similares.

## **11. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda ampliar el área destinada al cultivo con el fin de incrementar la productividad total y, en consecuencia, aumentar la rentabilidad económica.
- Se recomienda que el uso del tanque sea tanque tipo australiano para optimizar costos.
- Se aconseja articular el proyecto con programas de desarrollo rural sostenible y fuentes de financiación ofrecidas por entidades como Finagro, Banco Agrario, ICA, o los Planes Departamentales de Extensión Agropecuaria (PDEA). Esta vinculación facilitará el acceso a créditos blandos, capacitación técnica y acompañamiento en la fase de implementación.
- Se aconseja incorporar fuentes de energía renovable, como sistemas de bombeo con energía solar.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Agronet. (s.f.). *Estadísticas agropecuarias*. Recuperado el 20 de abril de 2025, de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
2. Banco Mundial. (2022). *Gestión sostenible del agua en la agricultura*. <https://www.worldbank.org>
3. Caiza Punina, J. M., & Cuchiye Changoluisa, L. A. (2022). *Diseño agronómico e hidráulico para la implementación de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de banano (Mussa paradisiaca) en el cantón La Maná, recinto San Eduardo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio UTC.
4. CEPAL. (2022). *El agua en América Latina y el Caribe: una visión hacia el 2030*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org>
5. Colombia Verde. (s.f.). *Cultivos de maracuyá en Colombia*. Recuperado el 20 de abril de 2025, de <https://colombiaverde.com.co/geografia/agricultura/cultivos-de-maracuya-en-colombia/>
6. Colombia Verde. (s.f.). *Importancia de la agricultura en la economía*. Recuperado de <https://colombiaverde.com.co/geografia/agricultura/importancia-de-la-agricultura-en-la-economia/>
7. FAO. (2017). *Modernización de sistemas de riego en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
8. FAO. (2020). *Riego por goteo: Tecnologías para una agricultura más sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
9. FAO. (2021). *El riego por goteo: Uso eficiente del agua para una agricultura sostenible*. <https://www.fao.org>
10. González, M., & Herrera, L. (2020). Implementación de tecnologías de riego en cultivos frutales de exportación en Colombia. *Revista Colombiana de Agricultura Sostenible*, 15(2), 45–60.
11. Gutiérrez, M. D. (2021). *Análisis del sistema de riego tecnificado en la comunidad de San José de Chazo, cantón Guano, provincia de Chimborazo* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. Repositorio Institucional UPEC. <https://repositorio.elpoli.edu.co>
12. IDEAM. (2020). *Caracterización climática del departamento de Cundinamarca*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co>
13. Martínez, D., Pérez, J., & Gómez, C. (2019). Eficiencia hídrica y manejo de fertilizantes en sistemas de riego localizado. *Revista Ciencia del Agro*, 34(1), 23–35.
14. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Informe nacional de cultivos frutales*. <https://www.minagricultura.gov.co>
15. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Estadísticas agrícolas anuales*. <https://www.minagricultura.gov.co>
16. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Informe sobre infraestructura de riego en Colombia*. <https://www.minagricultura.gov.co>
17. Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Agenda 2030*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
18. Naciones Unidas. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Agua limpia y saneamiento (ODS 6)*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

19. Quijia Escobar, A. S. (2020). *Análisis del impacto de la implementación del sistema de riego por goteo en la productividad del sector agrícola en la Asociación de Productores Agropecuarios San Rafael, cantón Bolívar, provincia del Carchi*. Repositorio Digital EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec>
20. Restrepo, H., & Hoyos, A. (2018). Efecto del estrés hídrico en el desarrollo fisiológico del maracuyá (*Passiflora edulis*). *Revista Agronómica del Caribe*, 19(3), 78–86.
21. Silva, P., & Gómez, R. (2019). Modelos financieros para la evaluación de sistemas de riego en agricultura familiar. *Revista Economía Rural y Desarrollo*, 21(4), 12–25.
22. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPR. (2023, diciembre). *Boletín de costos de producción agrícola – Piña, segundo semestre 2023*. <https://upra.gov.co>
23. Valencia, J., Camacho, M., & Rivera, E. (2017). Impacto del riego por goteo en el rendimiento del cultivo de piña. *Revista de Tecnología Agrícola*, 13(2), 35–42.
24. Finance Colombia. (2024, mayo 7). *Colombia's agricultural sector grew 8.1% during 2024*. [https://www.financecolombia.com/colombias-agricultural-sector-grew-8-1-during-2024/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.financecolombia.com/colombias-agricultural-sector-grew-8-1-during-2024/?utm_source=chatgpt.com)
25. Gobernación de Cundinamarca. (2023). *Estadísticas agropecuarias 2023 – Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. [https://www.cundinamarca.gov.co/dependencias/secagrocampesinado/informacion-de-interes/estadisticas\\_agropecuarias](https://www.cundinamarca.gov.co/dependencias/secagrocampesinado/informacion-de-interes/estadisticas_agropecuarias)
26. FAO. (2019). *El estado de la alimentación y la agricultura 2019: Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/publications>
27. López, M., & Díaz, L. (2017). *Riego por goteo: Diseño, operación y mantenimiento*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería.
28. Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Van Nostrand Reinhold.
29. Burt, C. M., & Styles, S. W. (1994). *Drip and Micro Irrigation for Trees, Vines and Row Crops*. Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State University.
30. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Estudios FAO Riego y Drenaje N.º 56). FAO. <https://www.fao.org/3/X0490S/x0490s00.htm>
31. Israeli Ministry of Agriculture. (2009). *Design of Drip Irrigation Systems*. Extension Service - Agricultural Engineering Branch.
32. CENID-RASPA. (2012). *Manual de diseño de sistemas de riego por goteo*. INIFAP, México.
33. Gobernación de Cundinamarca. (2023). *Estadísticas agropecuarias del departamento - Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. [https://www.cundinamarca.gov.co/dependencias/secagrocampesinado/informacion-de-interes/estadisticas\\_agropecuarias](https://www.cundinamarca.gov.co/dependencias/secagrocampesinado/informacion-de-interes/estadisticas_agropecuarias)
34. El Espectador. (2025). *PIB de 2024: la economía colombiana se recupera, pero sigue lastrada*. [https://www.elespectador.com/economia/macroeconomia/pib-de-2024-en-colombia-asi-le-fue-a-la-economia-segun-el-dane/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.elespectador.com/economia/macroeconomia/pib-de-2024-en-colombia-asi-le-fue-a-la-economia-segun-el-dane/?utm_source=chatgpt.com)

35. Calendario de Colombia. *Calendario de climas y estaciones en Colombia: Guía por regiones y actividades turísticas* (2025). [https://www.calendariodecolombia.com/colombia/calendario-de-climas-y-estaciones-en-colombia?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.calendariodecolombia.com/colombia/calendario-de-climas-y-estaciones-en-colombia?utm_source=chatgpt.com)
36. Triviantes, <https://www.triviantes.com/departamento-de-cundinamarca>
37. Olaya D, Guzmán D. (2020). Zonificación de amenaza por incendios forestales en Nimaima Cundinamarca, (Tesis de pregrado, Universidad de Cundinamarca). Repositorio Institucional UCUNDINAMARCA. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/server/api/core/bitstreams/a0b6e63d-ff91-4819-ac02-db04d47164e7/content>
38. Vásquez, J. J., Rocha, J. C., & Ávila, J. O. (s/f). *Manual sobre el cultivo Manual sobre el cultivoManual sobre el cultivo del maracuyá (Passiflora edulis) en Colombia*. Agrosavia.co. Recuperado el 16 de agosto de 2025, de [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13329/Ver\\_Documento\\_13329.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13329/Ver_Documento_13329.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
39. file:///C:/Users/malej/Downloads/9789585050754.2023.pdf
40. FAO. (s. f.). *Pineapple: Crop information*. Food and Agriculture Organization of the United Nations <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/pineapple/en/>
41. Weather Atlas. (s. f.). *Clima en Nimaima, Colombia: humedad relativa mensual*. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://www.weather-atlas.com/es/colombia/nimaima-clima>
42. Álvarez, M., Mosquera, M., & Perea, D. (2018). *Evaluación económica de sistemas de riego para plantaciones de palma aceitera en la Zona Norte de Colombia*. Revista Palmas, 39(2), 23–34. [https://www.researchgate.net/publication/327867299\\_Evaluacion\\_economica\\_de\\_sistemas\\_de\\_riego\\_para\\_plantaciones\\_de\\_palma\\_aceitera\\_en\\_la\\_Zona\\_Norte\\_de\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/327867299_Evaluacion_economica_de_sistemas_de_riego_para_plantaciones_de_palma_aceitera_en_la_Zona_Norte_de_Colombia)
43. Castelblanco, J., Ramírez, D., & Guzmán, L. (2021). *Estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de riego por goteo para el cultivo de limón en Barrancabermeja*. Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO. <https://repository.uniminuto.edu/bitstreams/eb073bbe-cob7-4057-b9ef-f7cc0c22a0bb/download>
44. Giraldo Vargas, J. (2025). *Diseño de un sistema de riego por goteo para un cultivo de papa en Toca, Boyacá*. ResearchGate. R [https://www.researchgate.net/publication/392666725\\_Disenio\\_de\\_un\\_sistema\\_de\\_riego\\_por\\_goteo\\_para\\_un\\_cultivo\\_de\\_papa\\_en\\_Toca\\_-\\_Boyaca](https://www.researchgate.net/publication/392666725_Disenio_de_un_sistema_de_riego_por_goteo_para_un_cultivo_de_papa_en_Toca_-_Boyaca)
45. FINAGRO. (2017). *Piña Golden Santander: Marco de referencia agroeconómico*. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario. [https://www.finagro.com.co/sites/default/files/2022-05/pina\\_golden\\_santander.pdf](https://www.finagro.com.co/sites/default/files/2022-05/pina_golden_santander.pdf)

46. FINAGRO. (2018). *Maracuyá amarillo, Cundinamarca: Marco de referencia agroeconómico*. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario. [https://www.finagro.com.co/sites/default/files/2022-05/maracuya\\_amarillocundinamarca.pdf](https://www.finagro.com.co/sites/default/files/2022-05/maracuya_amarillocundinamarca.pdf)
47. Mora Castro, D. P. (2011). *El cultivo de maracuyá (Passiflora edulis) en temporada invernal*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://www.ica.gov.co/getattachment/a814b577-coco-4369-8ecd-4f01f971cf99/El-cultivo-de-maracuya-en-temporada-invernal.aspx>
48. Chacón, C. (1988). Guía práctica para el cultivo del maracuyá en el Valle del Cauca.. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/30456>
49. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2025). *Mayoristas: Boletín mensual – Sistema de Información de Precios (SIPSA)*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/mayoristas-boletin-mensual-1>
50. Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca – ICCU. (2025). *Lista de precios ICCU 2025*. Gobernación de Cundinamarca. <https://www.iccu.gov.co/wcm/connect/ICCU/8455ae14-62a2-4597-842a-57d66960e5df/LISTA+DE+PRECIOS+ICCU+2025.pdf?MOD=AJPERES&CVID=piU1ELe>
51. CAR Cundinamarca. (2020). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Negro – POMCA Río Negro*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. <https://www.car.gov.co/>
52. IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2023). *Boletín Hidrometeorológico Nacional – Comportamiento de las precipitaciones en Cundinamarca*. Bogotá, D.C. <https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/boletin-hidrometeorologico>