



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 20/01/2025

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El suscrito:

Jeanpier Camilo Morales Alarcón identificado con C.C. No. 1003812421,

Autor(es) de la tesis

Titulado DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE LIMÓN TAHITÍ DE LA HACIENDA BUENA VISTA, CORREGIMIENTO EL JUNCA, MUNICIPIO DE PALERMO (HUILA)

presentado y aprobado en el año 2025 como requisito para optar al título de Ingeniero agrícola; Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Vigilada Mineducación



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE LIMÓN TAHITÍ DE LA HACIENDA BUENA VISTA, CORREGIMIENTO EL JUNCAL, MUNICIPIO DE PALERMO (HUILA).

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Morales Alarcón	Jeanpier Camilo

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Vargas Hoyos	Jhon Jairo

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Vargas Hoyos	Jhon Jairo

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería agrícola

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2025 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 45



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 5

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas
o Cuadros

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Ninguno

MATERIAL ANEXO: PDF, Salidas Cartográficas.

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS: Sistema de riego, diseño agronómico, diseño hidráulico, micro aspersores.

Español

Inglés

1.Sistema de riego	Irrigation system
2.Diseño Agronómico	Agronomic design
3.Diseño Hidráulico	Hydraulic design
4.Micro aspersores	Micro-sprinklers

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Unas de las variables de mayor incidencia para lograr un desarrollo y producción óptima de cualquier cultivo, se relaciona a la demanda de agua necesaria para su consumo, ya que garantiza un flujo continuo en la absorción de nutrientes claves para su subsistencia; la investigación desarrollada tuvo como fin diseñar un sistema de riego para el cultivo de limón Tahití de la hacienda buena vista, corregimiento el juncal, municipio de Palermo (huila); la metodología empleada partió de un enfoque aplicado mixto en 3 fases preliminares las cuales comprendieron en primera instancia la recopilación de la información, en la fase 2 la realización de estudios básicos de climatología; suelos (textura del suelo en campo, densidad aparente y pruebas de infiltración) y topografía, en la fase 3 se seleccionó el sistema de riego, se elaboró el diseño agronómico, el diseño hidráulico y presupuesto. Los resultados mostraron que el caudal necesario, para suplir las necesidades hídricas de cada subunidad es de 4,16 l/s, el sistema se compone de 5



subunidades de riego. Se concluye que el sistema de riego bajo estas condiciones garantiza la demanda de agua para un desarrollo eficiente del cultivo en cuanto a la producción esperada en el proyecto.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

One of the most impactful variables for achieving optimal development and production of any crop is related to the water demand required for its consumption, as it ensures a continuous flow in the absorption of key nutrients for its survival. The research conducted aimed to design an irrigation system for the Tahiti lime crop at Hacienda Buena Vista, located in the Juncal district, Palermo municipality (Huila).

The methodology used followed a mixed applied approach across three preliminary phases: the first phase involved gathering information; the second phase included basic



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 5

studies on climatology, soil (field soil texture, bulk density, and infiltration tests), and topography; and in the third phase, the irrigation system was selected, and the agronomic design, hydraulic design, and budget were developed.

The results showed that the flow rate required to meet the water needs of each subunit is 4.16 l/s. The system consists of five irrigation subunits. It is concluded that the irrigation system, under these conditions, ensures the water demand necessary for efficient crop development in terms of the expected production for the project.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre presidente Jurado: **Jaime izquierdo Bautista**

Firma:

Nombre Jurado: **Jaime Izquierdo Bautista**

Firma:

Nombre Jurado: **Javier Eduardo Bonilla**

Firma:

Vigilada Mineducación



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	5 de 5
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE LIMÓN
TAHITÍ DE LA HACIENDA BUENA VISTA, CORREGIMIENTO EL
JUNCAL, MUNICIPIO DE PALERMO (HUILA).**

Trabajo de grado presentado al Programa de Ingeniería Agrícola
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autor

Jeanpier Camilo Morales Alarcón: 20171154680

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Agrícola
Neiva, Huila, Colombia. 2024

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE LIMÓN
TAHITÍ DE LA HACIENDA BUENA VISTA, CORREGIMIENTO EL
JUNCAL, MUNICIPIO DE PALERMO (HUILA).**

Trabajo de grado presentado al Programa de Ingeniería Agrícola
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Director
Jhon Jairo Vargas Hoyos
Ing. Agrícola

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Agrícola
Neiva, Huila, Colombia. 2024

Firma

Director: Jhon Jairo Vargas Hoyos

Nota de aceptación

Firma

Jurado: Javier Eduardo Bonilla

Firma

Jurado: Jaime Izquierdo Bautista

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE LIMÓN
TAHITÍ DE LA HACIENDA BUENA VISTA, CORREGIMIENTO EL
JUNCAL, MUNICIPIO DE PALERMO (HUILA).**

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.1. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGÍA, SUELOS Y TOPOGRAFÍA	23
3.1.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN	23
3.1.2. SUELOS	24
3.1.3. DENSIDAD APARENTE.....	24
3.1.4. TEXTURA DEL SUELO.....	25
3.1.5. PRUEBA DE INFILTRACIÓN.....	25
3.1.6. TOPOGRAFÍA.....	28
3.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	29
3.3. DISEÑO AGRONÓMICO DEL SISTEMA DE RIEGO	31
3.4. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO.....	32
3.4.1. DISEÑO LATERAL DEL RIEGO.....	33
3.4.2. DISEÑO TUBERÍA MULTIPLE	34
3.4.3. DISEÑO DE TUBERÍA SECUNDARIA Y PRINCIPAL.....	35
3.5. PRESUPUESTO.....	36
4. CONCLUSIONES.....	38
5. ANEXOS.....	39
6. REFERENCIAS.....	44

LISTA DE TABLAS

	PÁG.
Tabla 1. Geolocalización del proyecto.	13
Tabla 2. Relación de ecuaciones usadas en el diseño agronómico.	18
Tabla 3. Relación de ecuaciones usadas en el diseño lateral del riego.	19
Tabla 4. Relación de ecuaciones para cálculo de tubería múltiple.	20
Tabla 5. Ecuaciones para estimación de tubería secundaria.	21
Tabla 6. Ecuaciones para estimación de tubería principal.	21
Tabla 7. Cálculo de evapotranspiración.	23
Tabla 8. Resultados laboratorio de suelos.	24
Tabla 9. Datos densidad aparente.	24
Tabla 10. Resultados para prueba 1.	25
Tabla 11. Resultados para prueba 2.	26
Tabla 12. Resultados para prueba 3.	27
Tabla 13. Cuadro comparativo de sistemas de riegos focalizados.	30
Tabla 14. Datos de entrada.	31
Tabla 15. Datos de ingreso emisor.	31
Tabla 16. Resultados diseño agronómico.	32
Tabla 17. Perdidas permisibles en la subunidad.	32
Tabla 18. Diámetro nominal acuaflex de polietileno.	33
Tabla 19. Resultados de diseño lateral del sistema de riego.	33
Tabla 20. Diámetro nominal en tuberías múltiples.	34
Tabla 21. Resultados de tubería múltiple.	34
Tabla 22. Resultados diseño tubería secundaria.	35
Tabla 23. Resultados diseño tubería principal.	35
Tabla 24. Estimación de presupuesto.	36

LISTA DE ILUSTRACIONES

	PÁG.
Figura 1. Ciclo de cultivo limón Tahití.....	10
Figura 2. Ubicación del área de estudio.....	13
Figura 3. Lote prazuela # 2 de la Hacienda Buena Vista.....	14
Figura 4. Toma de muestra de suelos mediante método zigzag para análisis físico.....	15
Figura 5. Prueba de densidad aparente.....	16
Figura 6. Prueba de manipulación para identificación de textura de suelo.....	16
Figura 7. Pruebas de infiltración.....	17
Figura 8. Prueba topográfica.....	17
Figura 9. Comportamiento de valores de filtración prueba 1.....	26
Figura 10. Comportamiento de valores de filtración prueba 2.....	27
Figura 11. Comportamiento de valores de filtración prueba 3.....	28
Figura 12. Plano de altimetría y planimetría.....	28

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por ser mi mayor fuente de inspiración y fortaleza.

Gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Su apoyo, sabiduría y ejemplo de perseverancia han sido la base sobre la cual construyó cada uno de mis logros.

Este trabajo es un reflejo de todo lo que me han enseñado y de la confianza que han depositado en mí. Con todo mi corazón, les dedico este esfuerzo, agradeciendo cada día por tenerlos como mis guías y pilares de vida.

Expreso mi más sincero agradecimiento al ingeniero Jhon Jairo Vargas Hoyos, mi tutor, por su guía, apoyo constante y aportes técnicos.

Agradezco también a COAGROHUILA por permitir la realización de este proyecto en sus instalaciones, facilitando los recursos necesarios y brindando un espacio ideal para la investigación sobre el sistema de riego.

Finalmente, agradezco a la Universidad Surcolombiana, y en especial al programa de Ingeniería Agrícola, por proporcionar las herramientas y espacios académicos e institucionales.

RESUMEN

Unas de las variables de mayor incidencia para lograr un desarrollo y producción óptima de cualquier cultivo, se relaciona a la demanda de agua necesaria para su consumo, ya que garantiza un flujo continuo en la absorción de nutrientes claves para su subsistencia; la investigación desarrollada tuvo como fin diseñar un sistema de riego para el cultivo de limón Tahití de la hacienda buena vista, corregimiento el juncal, municipio de Palermo (huila); la metodología empleada partió de un enfoque aplicado mixto en 3 fases preliminares las cuales comprendieron en primera instancia la recopilación de la información, en la fase 2 la realización de estudios básicos de climatología; suelos (textura del suelo en campo, densidad aparente y pruebas de infiltración) y topografía, en la fase 3 se seleccionó el sistema de riego, se elaboró el diseño agronómico, el diseño hidráulico y presupuesto. Los resultados mostraron que el caudal necesario, para suplir las necesidades hídricas de cada subunidad es de 4,16 l/s, el sistema se compone de 5 subunidades de riego. Se concluye que el sistema de riego bajo estas condiciones garantiza la demanda de agua para un desarrollo eficiente del cultivo en cuanto a la producción esperada en el proyecto.

Palabras clave: Sistema de riego, diseño agronómico, diseño hidráulico, microaspersores.

ABSTRACT

One of the most impactful variables for achieving optimal development and production of any crop is related to the water demand required for its consumption, as it ensures a continuous flow in the absorption of key nutrients for its survival. The research conducted aimed to design an irrigation system for the Tahiti lime crop at Hacienda Buena Vista, located in the Juncal district, Palermo municipality (Huila).

The methodology used followed a mixed applied approach across three preliminary phases: the first phase involved gathering information; the second phase included basic studies on climatology, soil (field soil texture, bulk density, and infiltration tests), and topography; and in the third phase, the irrigation system was selected, and the agronomic design, hydraulic design, and budget were developed.

The results showed that the flow rate required to meet the water needs of each subunit is 4.16 l/s. The system consists of five irrigation subunits. It is concluded that the irrigation system, under these conditions, ensures the water demand necessary for efficient crop development in terms of the expected production for the project.

Keywords: Irrigation system, agronomic design, hydraulic design, micro-sprinklers.

1. INTRODUCCIÓN

Los cítricos ocupan el segundo lugar entre los frutales con mayor área cultivada en el país, siendo superados únicamente por el plátano. En este grupo, el limón aporta el 33 % de la producción total, ubicándose en tercer lugar detrás de la naranja y la mandarina (Arias et al., 2023). De acuerdo con el Ministerio de Agricultura, en 2021 se reportaron 87.638 hectáreas de cítricos, alcanzando una producción anual de 1.450.071 toneladas. Los departamentos de Huila y Tolima se encuentran en la sexta posición a nivel nacional, con una producción de 67.320 toneladas y un rendimiento promedio de 14 T/Ha (Murcia Riaño et al., 2020).

La lima ácida, conocida como limón Tahití, pertenece a la familia Rutaceae y al género Citrus. Este cultivo fue introducido en Colombia en 1941 y se caracteriza por producir frutos sin semillas debido a su condición triploide y la falta de polen viable. Su forma varía entre ovalada y semiredonda, con un color verde característico y un peso que oscila entre 50 y 100 gramos (ICA, 2021). De acuerdo con la Agroguía de FINAGRO, su ciclo de cultivo se desarrolla en etapas bien definidas dentro de una línea tiempo específica (Dorado G et al., 2015).

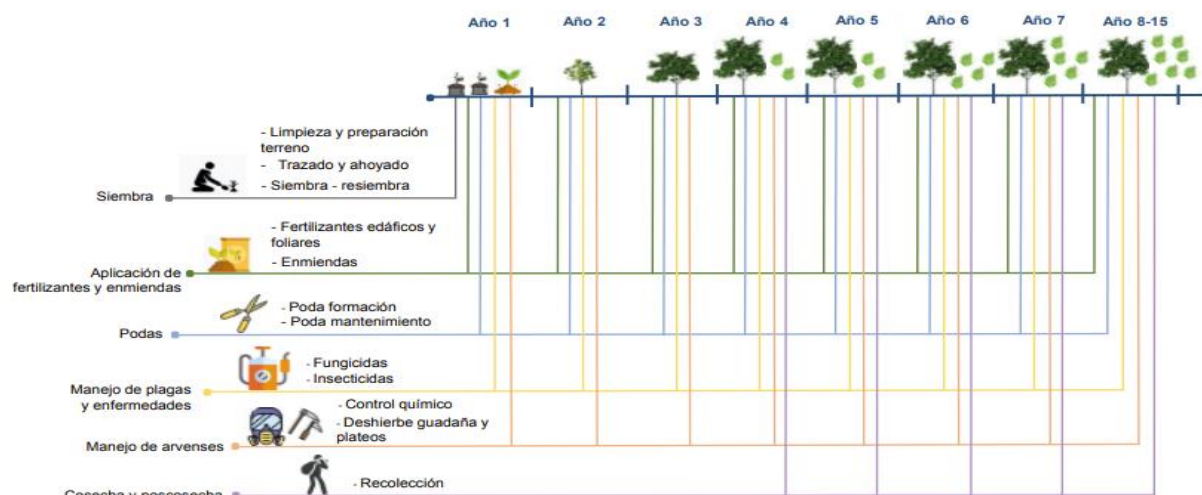


Figura 1. Ciclo de cultivo limón Tahití

Fuente: (FINAGRO, 2021)

El consumo de agua necesario para satisfacer los requerimientos hídricos de los cítricos varía entre 1.000 y 1.563 mm al año, con una distribución uniforme a lo largo de los meses (García, 2014). En el caso del limón Tahití cultivado en los valles interandinos del Huila, el patrón de lluvias presenta un régimen bimodal. Las precipitaciones más abundantes ocurren durante el primer semestre, generando un excedente promedio de 53 mm. Sin embargo, en el segundo semestre se observa un déficit hídrico que puede alcanzar hasta 115 mm, lo que implica que el agua disponible no es suficiente para satisfacer completamente las necesidades de evapotranspiración del cultivo o apenas lo logra. Por esta razón, es fundamental implementar riego complementario para garantizar niveles adecuados de humedad y una correcta aireación del suelo (Ríos-Rojas et al., 2020).

Varios estudios previos sobre sistemas de riego ofrecen los siguientes aportes:

En Costa Rica, se llevó a cabo un estudio para desarrollar un sistema de riego por goteo utilizando agua de lluvia para el cultivo de cítricos, dirigido a 29 beneficiarios del INDER. La metodología empleada incluyó un análisis de campo para evaluar las características del suelo, la capacidad de almacenamiento de agua, así como el diseño agronómico e hidráulico del sistema. Los resultados indicaron que la opción más eficaz era un sistema de riego por goteo, con goteros distribuidos alrededor de los árboles en configuración de cola de cerdo, junto con un reservorio de agua en cada parcela. Este antecedente aporta la estimación de variables esenciales para su implementación, destacando el análisis del suelo como un factor crucial para determinar los flujos de agua necesarios para el cultivo de limón (Morais et al., 2020).

En línea con esta área de estudio, se realizó una investigación sobre los nuevos desafíos del riego y la fertilización en cítricos. El estudio concluyó que el agua es un factor crucial para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, siendo la principal limitante de la productividad y rentabilidad de la citricultura en España. Por esta razón, la implementación de sistemas de riego subterráneo con técnicas focalizadas de suministro no solo favorece un uso más eficiente del agua, sino que también permite un manejo racional del recurso. Además, se destaca el uso de riego de precisión, que incorpora tecnologías de control. Un aporte teórico clave de este estudio es la priorización del uso del agua para producción agrícola (Acevedo et al., 2020).

En Valencia (España), se llevó a cabo un estudio para el diseño y dimensionamiento de un sistema de riego localizado para el cultivo de cítricos. La metodología empleada comenzó con estudios previos de cartografía, edafología, análisis de suelos y calidad del agua. A partir de ahí, se calcularon las necesidades netas y totales de riego, la configuración de los emisores por planta, la separación entre ellos y la red de transporte necesaria para el flujo de agua. Los resultados indicaron que el diseño del cabezal de riego o sistema de abastecimiento debía basarse en una estructura de hormigón prefabricado con dimensiones de 2,5 x 4 x 2,20 metros. Esta estructura albergaría los sistemas de filtrado para garantizar la calidad del agua, los sistemas de fertirrigación para suministrar los nutrientes al cultivo, así como los sistemas de control, protección y automatización. Se establecieron que las pérdidas de carga máximas para el cabezal serán de 10 mca (Pinto et al., 2023).

En este contexto, el agua se considera un recurso esencial para la sostenibilidad de los proyectos agrícolas y para garantizar la seguridad alimentaria. Su uso eficiente mediante sistemas de riego, como estrategia de manejo racional, desempeña un papel crucial en el ciclo de vida de los productos. Según la FAO, estos sistemas de riego cubren el 20% de la superficie cultivada y son responsables del 40% de la producción. (FAO, 2017).

El uso eficiente del agua es una prioridad que debe estar en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, que incluyen: el objetivo 12, sobre producción y consumo responsables; el 6, relacionado con el acceso a agua limpia y saneamiento; el 3, enfocado en salud y bienestar; y el 13, sobre acción climática. Esto es fundamental para mejorar las condiciones de vida y los ecosistemas, asegurando la habitabilidad y el suministro de alimentos a futuro en el mundo (Abdou, 2023).

Se pretende implementar un cultivo de limón Tahití en la hacienda Buena Vista ubicada en el corregimiento El Juncal del municipio de Palermo-Huila, en un área de 10 hectáreas; razón por la cual para cumplir con este proyecto se realizó un estudio de suelos, así mismo se estableció la

oferta hídrica del área de estudio con el fin de poder implementar un sistema de riego que garantice la demanda hídrica haciendo uso eficiente y racional del líquido, y así de esta manera asegurar su desarrollo en todo el ciclo de crecimiento, especialmente en la etapa de floración la cual es clave en la producción (Costa, 2020).

Esta floración es responsable de la cosecha principal que ocurre entre los meses de julio y agosto, aunque también se presentan floraciones fuera de temporada a lo largo del año, siempre que no haya déficit hídrico. En situaciones de sequía, veranos prolongados o en suelos con alta permeabilidad, los cultivos de limón Tahití experimentan estrés hídrico debido a la insuficiente disponibilidad de agua para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Esto provoca retrasos en el crecimiento de las plantas, enrollamiento de las hojas y una caída excesiva de frutos jóvenes, lo que afecta negativamente la producción. En el caso de los frutos ya desarrollados, se observa una reducción en su crecimiento y una alteración de su calidad, con disminución en el contenido de jugo y acidez (Vásquez, 2015).

Cabe indicar que el enrollamiento de las hojas es la manifestación más evidente del déficit hídrico, debido a que la superficie foliar se reduce junto con la radiación solar interceptada, disminuyendo la transpiración.

Según lo anterior, para contrarrestar estos posibles efectos en el proyecto, surge la pregunta de investigación

¿Qué tipo de sistema de riego es el más adecuado para hacer uso eficiente y racional del agua de tal manera que satisfaga las demandas hídricas del proyecto de siembra del cultivo de limón Tahití para 10 hectáreas en la hacienda Buena vista del corregimiento El Juncal de Palermo- Huila?

Para dar cumplimiento al objetivo trazado, se planteó:

- Realizar estudios básicos de climatología; suelos (textura del suelo en campo, densidad aparente y pruebas de infiltración) y topografía.
- Seleccionar el sistema de riego.
- Realizar el diseño agronómico del sistema de riego para el cultivo de limón Tahití
- Realizar el diseño hidráulico del sistema de riego para el cultivo de limón Tahití.

Por otro lado, es relevante señalar que, para el mercado interno, el atributo más valorado es el contenido de jugo, siendo los departamentos de Tolima, Santander y Huila los que destacan por la calidad en este aspecto. En cuanto al mercado de exportación, las características más apreciadas del fruto son su color verde intenso, la ausencia de zonas con "golpe de sombra" y la calidad de la corteza. Esto se debe a que el principal uso de la fruta es en la coctelería, especialmente en mercados de Europa (PROEXPORT, 2022).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología para emplear comprende un trabajo aplicado de enfoque mixto (Hernández, 2014).

La investigación se llevó a cabo en el Lote Prazuela #2, ubicado en la Hacienda Buena Vista, con las siguientes coordenadas geográficas son:

Tabla 1. Geolocalización del proyecto.

Georreferenciación	Latitud	Longitud
Hacienda Buena Vista	2°51'30,42"N	75°21'35,36"O

Fuente: Autor

El acceso al lugar comienza desde la ciudad de Neiva, ubicada a 432 msnm, en el punto PR 0+00, en el puente Santander sobre el río Magdalena. Desde allí, se sigue por una vía pavimentada hacia el corregimiento El Juncal, luego se toma una desviación hacia una vía destapada antes del condominio campestre Valle Grande. En este punto, se gira a la derecha y se continúa hasta llegar a la Hacienda Buena Vista, ubicada en el PR 14+072, tal como se muestra en la figura 2.

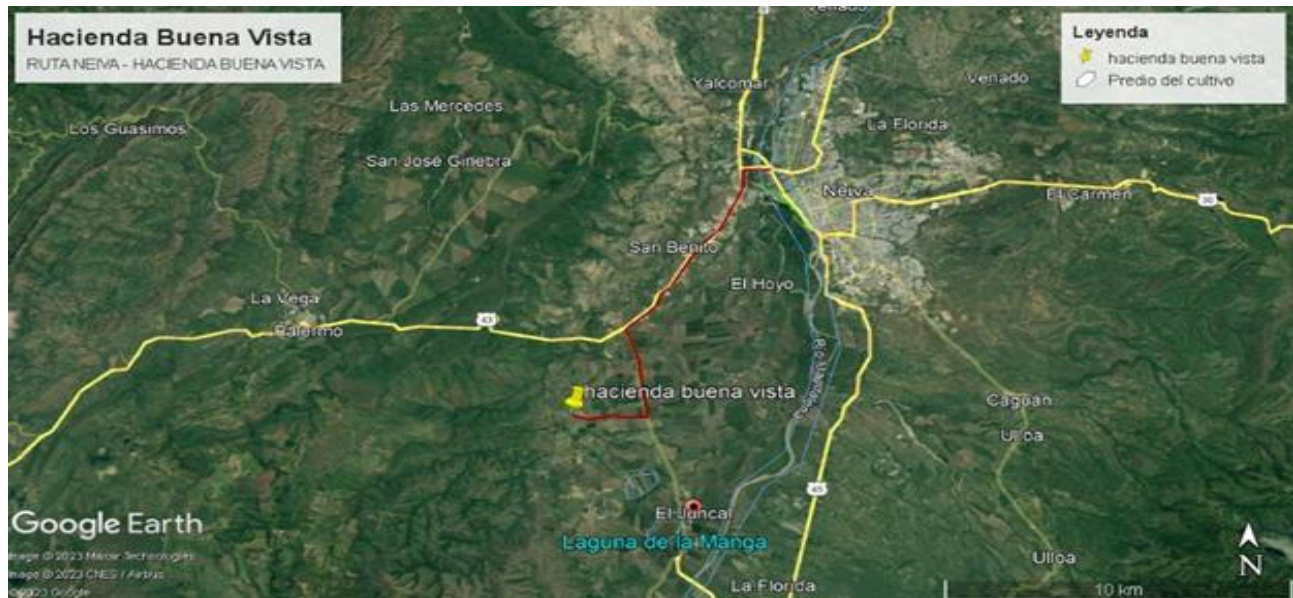


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

Fuente: Google Eart.

La población y muestra del estudio corresponden a la Hacienda Buena Vista, que abarca un total de 10 hectáreas. El lote seleccionado para el diseño del sistema de riego se denomina Prazuela #2, como se ilustra en la figura 3 a continuación.

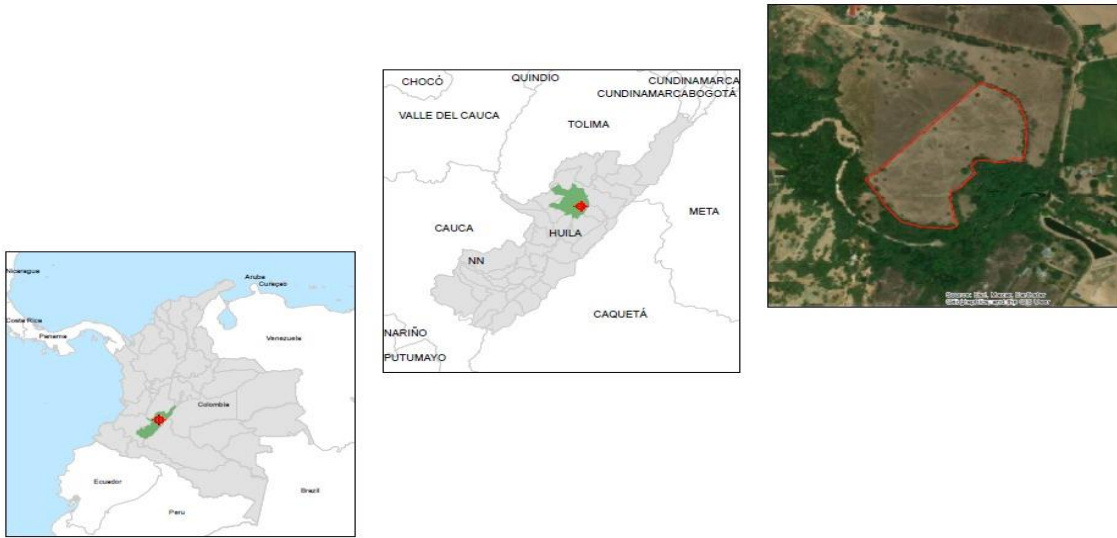


Figura 3. Lote prazuela # 2 de la Hacienda Buena Vista

Fuente: Autor

Para su desarrollo se establecieron las siguientes fases metodológicas en concordancia con los objetivos planteados.

Fase 1: PRELIMINARES

Se recopiló información a través de la revisión de literatura, consultando diversas fuentes bibliográficas como Science Direct, Google Académico, entre otras, para obtener los conceptos claves necesarios para la elaboración.

Fase 2: TRABAJO DE CAMPO

Durante esta fase se realizaron las siguientes actividades:

- **Fuente de abastecimiento:** La información referente a esta variable fue proporcionada por el comité técnico de ASOJUNCAL a través de una respuesta por escrito, según lo detallado en el anexo.
- **Datos de climatología:** Se recopilaron datos de la estación meteorológica El Juncal a través de la página del IDEAM, y se incluyeron variables como Humedad Relativa, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima y Velocidad del Viento, durante un período de 10 años, desde 2012 hasta 2022. Para los valores faltantes de las variables mencionadas, se utilizó el método de regresión lineal. Estos datos fueron recolectados con el objetivo de calcular la evapotranspiración mediante el método de Penman-Monteith, según lo establecido por la

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en su documento "Guías para la determinación de requerimientos de agua de cultivos" (FAO, 2014).

Numerosos investigadores han analizado el funcionamiento de varios métodos de cálculo para diversas localidades. Como resultado de una consulta de expertos llevada a cabo en mayo de 1990, el método FAO PENMAN MONTEITH se recomienda actualmente como metodología estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración, a partir de la siguiente ecuación (p.13)

$$\lambda ET_0 = \frac{\Delta (R_n - G) + \rho C_p (e_a - e_d) / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_c / r_a)}, \text{ de donde:}$$

ET_0 = Flujo de calor latente de evaporación [$\text{kJm}^{-2}\text{s}^{-1}$].

R_n = Flujo de radiación neta en superficie [$\text{kJm}^{-2}\text{s}^{-1}$].

G = Flujo térmico del suelo [$\text{kJm}^{-2}\text{s}^{-1}$].

ρ = Densidad atmosférica [kg m^{-3}].

C_p = Calor específico del aire húmedo [$\text{kJ kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$].

$(e_a - e_d)$ = Déficit de presión de vapor [kPa].

r_c = Resistencia de la cubierta vegetal [S m^{-1}].

r_a = Resistencia aerodinámica [S m^{-1}].

Δ = Pendiente curva de presión de vapor [kPa °C^{-1}].

γ = Constante psicrométrica [kPa °C^{-1}].

λ = Calor latente de vaporización [kJ MJkg^{-1}].

El k_c se obtuvo de la tabla proporcionada por la FAO para cítricos; dicho valor es de 0,65.

Suelos: Se recolectaron 18 muestras de suelo, mediante el método de zigzag (ver figura 4), las cuales se llevaron al laboratorio agroambiental de suelos y agua LAGSA, para análisis físico del suelo.

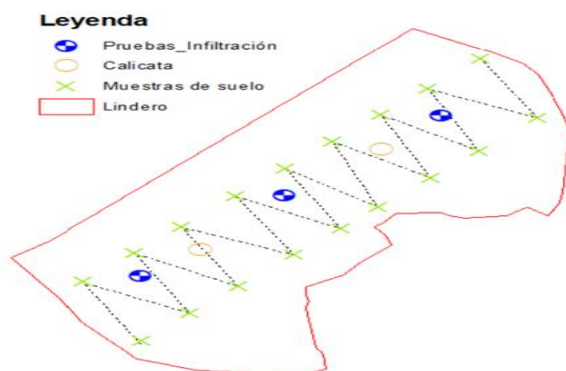


Figura 4. Toma de muestra de suelos mediante método zigzag para análisis físico.

Fuente: Autor

Densidad aparente: Para determinar esta variable, se utilizó la metodología del cilindro. Primero, se pesaron las muestras antes de colocarlas en el horno a 105 °C durante un período de 24 horas. Después, se realizaron nuevas mediciones de peso, altura y diámetro del cilindro, tal como se muestra en la figura 5; la ecuación empleada para su estimación es:

$$D_A = \frac{P_{seco}}{V_{total}} \text{ en } \frac{g}{cm^3}$$



Figura 5. Prueba de densidad aparente

Fuente: Autor

Textura del suelo: El método empleado para esta variable siguió las recomendaciones del manual de la (FAO, 2006), tal y como se indica en la prueba de manipulación realizada en la figura 6.



Figura 6. Prueba de manipulación para identificación de textura de suelo

Fuente: Autor

- **Pruebas de infiltración:** Se realizaron 3 pruebas por el método de doble anillo según recomendaciones dadas por Delgadillo (2016). Las condiciones establecidas para aplicar el método incluyeron aspectos como terreno plano, libre de obstáculos para la libre circulación del agua.



Figura 7. Pruebas de infiltración

Fuente: Autor

- **Topografía:** Para el estudio topográfico, se utilizó un dron Matrice 300 RTK equipado con un sensor LiDAR y un GNSS FOIF A90. Se instalaron 5 puntos de control con los GNSS, lo que permitió la rectificación de la ortofoto capturada por el dron. Durante el vuelo, se realizó una medición de la inclinación del terreno mediante el sensor LiDAR (Light Detection and Ranging), que emplea tecnología láser para medir distancias y generar mapas tridimensionales del entorno. Los datos obtenidos fueron procesados para crear un modelo de elevación digital, y con el software ArcGIS se trazaron las curvas de nivel.



Figura 8. Prueba topográfica

Fuente: Autor

Fase 3: TRABAJO DE OFICINA

- **Selección de sistema de riego:** Para seleccionar el sistema de riego localizado, se realizó una clasificación y análisis comparativo a partir de los diferentes factores como adaptación a cultivos, adaptación a características del terreno, consumo de agua, calidad de agua, eficiencia de riego, riego ambiental, dispersión de plagas y enfermedades, mano de obra (conocimiento para instalación y operación del sistema), tecnología y costo.
- **Diseño agronómico:** El diseño agronómico se realiza con base en las condiciones del clima y de acuerdo a los datos de entrada del proyecto y los datos del microaspersor escogido; se empleó para los cálculos una hoja de Excel en donde se determina valores como, pluviometría del emisor, área que desea humedecer el marco de plantación, área que moja el emisor, número de microaspersores por árbol, porcentaje humedecido, lámina aplicar, dosis de aplicación, tiempo de aplicación, número de sectores calculados, área del sector, caudal del sector, módulo de riego y número de plantas por sector; utilizando las siguientes fórmulas:

Tabla 2. Relación de ecuaciones usadas en el diseño agronómico.

ítem	Descripción		Ecuación	Variables
1	Pluviometría del emisor (mm/hr)	Pluvi	$\frac{Qemi}{\pi * dh^2}$	Qemi: Caudal del emisor (L/hr) dh: Diámetro húmedo del emisor (m)
2	Área que desea humedecer el marco de plantación (m2)	Am a	$Psh * dm * dl$	Psh= Porcentaje de suelo humedecido (Decimal) dm= distancia micro aspersores (m) dl= distancia laterales (m)
3	Área que moja el emisor (m2)	Am e	$\frac{\pi}{4} * dh^2$	Dh= Diámetro húmedo emisor (m)
4	Numero de Microaspersores por árbol	Em	$\frac{Ama}{Ame}$	Ama= Área que desea humedecer el marco de plantación (m2) Ame= Área que moja el emisor (m2)
5	Porcentaje humedecido (%)	PH	$\frac{Ame}{dm * dl} * 100$	Ame= Área que moja el emisor (m2) Dp= Distancia entre plantas (m) De= Distancia emisores (m) Eto=Evapotranspiración (mm/día)
6	Lamina aplicar (mm)	La	$\frac{Eto * Kc}{Ef}$	Kc=Coficiente Kc (adimensional) Ef= Eficiencia de riego (decimal)
7	Dosis de Aplicación (L/planta*día)	Da pli	$la * \frac{\pi * dh^2}{4}$	La: Lamina aplicar (mm) Dh= Diámetro húmedo emisor (m) Dapli=Dosis de aplicación
8	Tiempo de aplicación (hr)	TR	$\frac{Dapli}{Qemi * Em}$	Qemi=Caudal del emisor (l/hr) Em= Numero micro aspersores
9	Numero de sectores calculados	NS C	$\frac{Fr * Jr}{TR}$	Fr=Frecuencia de riego (hr/día) Jr=Jornada de riego (días) TR=Tiempo de riego (hr)
10	Área del sector (ha)	As	$\frac{At}{NSS}$	At=Area total del lote (ha) NSS=Numero de sectores seleccionado
11	Caudal del sector (l/s)	Qsec	$\frac{Asec}{De * Dp} * Em * Qemi * (\frac{100}{36})$	Asec: Área del sector (ha) De: distancia Emisores (m) Dp: distancias Plantas (m) Em: Numero micro aspersores Qemi: Caudal micro aspersor (l/hr)
12	Módulo de riego (l/s*ha)	MR	$\frac{Qsec * NSS}{At}$	La: Lamina aplicar (mm) Fr: Frecuencia de riego (día) Jr: Jornada de riego (hr)
13	Número de plantas por sector	NP S	$\frac{Asec}{Dp * De}$	Asec: Área del sector (ha) De: distancia Emisores (m) Dp: distancias Plantas (m)

Fuente: Autor

Diseño hidráulico: Para este diseño se partió haciendo los cálculos del **diseño lateral de riego**, en donde se toma como referencia el lateral máximo del sistema y se calcula con la fórmula de Darcy Weisbach la cual se desglosa en las siguientes ecuaciones y además se halla la presión a la entrada y la salida del lateral.

Tabla 3. Relación de ecuaciones usadas en el diseño lateral del riego.

ítem	Descripción	Ecuación	Variables	
1	Número de árboles a regar por lateral	n	$\frac{l}{De}$	l= longitud (m) De= Distancia emisores (m)
2	Cálculo del caudal de entrada en los laterales (l/hr)	q_l	$n * Qe$	Qemi= Caudal del emisor (l/h) n= Numero Emisores
3	Velocidad (m/s)	v	$\frac{4 * Qemi}{\pi * DiL^2}$	Qemi= Caudal del emisor (m3/s) DiL= Diametro Interno Lateral (m) V= Velocidad (m/s)
4	Numero Reynolds	Re	$\frac{v * DiL}{U}$	DiL=Diametro interno Lateral (m) U= Viscosidad (m/s)
5	Rugosidad Relativa	Rr	$\frac{Ra}{DiL}$	Ra= Rugosidad Absoluta (mm) DiL= Diametro Interno Lateral (mm)
6	Factor Fricción (Formula de Swamme) (m)	f	$\frac{0,25}{(\log(\frac{Ra}{3,71 * DiL} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}))^2}$	Ra= Rugosidad Absoluta (m) DiL= Diametro Interno Lateral (m) Re= Numero de Reynolds f= Factor de friccion (m)
7	Coefficiente de resistencia a la fricción del agua (m)	K	$\frac{0,08263 * f * L}{DiL^5}$	L= Longitud lateral max (m) DiL= Diametro Interno Lateral (m) K= Coeficiente de resistencia a la friccion del agu
8	Perdida de carga (m)	hf	$k * Qemi^2$	Q= Caudal del microaspersor en (m3/s)
9	Perdidas de carga en el lateral	hfL	$hf * F$	hf= Perdida de carga (m) F= factor de Christiansen h= Carga del emisor (m)
10	Presión a la entrada del lateral	hl	$h * \frac{3}{4} * hfL + \frac{1}{2} * \frac{S * L}{100}$	hfL= perdidas de carga en el lateral (m) S= pendiente (%) L= longitud lateral Max (m) hl= Presión a la entrada del lateral (m)
11	Presión Mínima en el lateral	hn	$hl - (hfL + \frac{S * L}{100})$	hfL= Perdidas de carga en el lateral (m) S= Pendiente (%) L= Longitud lateral Max (m)
12	Calculo de la diferencia de presión	Δh	$hl - hn$	hl= Presión a la entrada del lateral (m) hn= Presión mínima en el lateral (m)

Fuente: Autor

Posteriormente, se realizaron cálculos para el **diseño tubería múltiple**; para lo cual se tomó como referencia la longitud máxima del múltiple del sistema, y se determinó mediante fórmula de Darcy Weisbach, la cual se desglosó en las siguientes ecuaciones de la tabla 3; adicionalmente se halló la presión a la entrada y la salida del múltiple.

Tabla 4. Relación de ecuaciones para cálculo de tubería múltiple.

ítem	Descripción		Ecuación	Variables
1	Número de Laterales	n	$\frac{l}{Sl}$	l= longitud Tuberia Multiple max (m) Sl= Separación Laterales (m)
2	Cálculo del caudal de entrada en el múltiple (l/hr)	q_m	$n * q_L$	q_L= Caudal de entrada en los laterales (l/hr) n= Numero de laterales
3	Velocidad (m/s)	v	$\frac{4 * Q_{emi}}{\pi * DiM^2}$	q_m= Caudal Entrada Multiple(m3/s) DiL= Diametro Interno Multiple (m) V= Velocidad (m/s)
4	Numero Reynolds	Re	$\frac{v * DiM}{U}$	DiM=Diametro interno Multiple (m) U= Viscocidad (m/s)
5	Rugosidad Relativa	Rr	$\frac{Ra}{DiM}$	Ra= Rugosidad Absoluta (mm) DiL= Diametro Interno Multiple (mm) Ra= Rugosidad Absoluta (m)
6	Factor Fricción (Formula de Swamme) (m)	f	$\frac{0,25}{(\log(\frac{Ra}{3,71 * DiM} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}))}$	DiM= Diametro Interno Multiple (m) Re= Numero de Reynolds f= Factor de friccion (m)
7	Coefficiente de resistencia a la fricción del agua (m)	K	$\frac{0,08263 * f * L}{DiM^5}$	L= Longitud Multiple max (m) DiM= Diametro Interno Multiple (m) K= Coeficiente de resistencia a la fricción del agua (m)
8	Perdida de carga (m)	hf	$k * q_M^2$	q_M= Caudal Entra en el multiple (m3/s)
9	Perdidas de carga en el Multiple	hfm	$hf * F$	hf= Perdida de carga (m) F= factor de Christiansen h= Carga del emisor (m)
10	Presión a la entrada del Multiple	hm	$h * \frac{3}{4} * hfm + \frac{1}{2} * \frac{S * L}{100}$	hfm= perdidas de carga en el Multiple (m) S= pendiente (%) L= longitud MultipleMax (m) hm= Presión a la entrada del Multiple (m)
11	Presión Mínima en el Multiple	hn	$hm - (hfm + \frac{S * L}{100})$	hfm= Perdidas de carga en el Multiple (m) S= Pendiente (%) L= Longitud Multiple Max (m)
12	Calculo de la diferencia de presión	Δh	$hm - hn$	hm= Presión a la entrada del Multiple (m) hn= Presión mínima en el Multiple (m)

Fuente: Autor

Respecto a las estimaciones para el **diseño tubería secundaria**, se determinaron las longitudes equivalentes de los accesorios (ver anexo 2) del arco de riego (ver anexo 3) y se utilizó la fórmula de Hazen Williams; además se halló la presión en la entrada de la tubería secundaria y la presión mínima. Las ecuaciones para su estimación son presentadas en la tabla 5.

Tabla 5. Ecuaciones para estimación de tubería secundaria.

ítem	Descripción	Ecuación	Variables
1	Formula de hazen williams (m)	$hf = 10,648 * \frac{1}{CHW}^{1,852} * \frac{Q^{1,852}}{D^{4,971}} * L$	CHW= 150 Q= Caudal entrada tuberia secundaria m3/s D= diametro tuberia secundaria m L= Longitud tuberia secundaria + Longitud equivalente m
2	Presión a la entrada de la tubería secundaria	$hs = ht * \frac{3}{4} * hf + \frac{1}{2} * \frac{S * L}{100}$	ht= Presion a la entrada de la tuberia terciaria (m) hf= perdidas de carga en la tuberia secundaria(m) S= pendiente (%) L= longitud tuberia secundaria(m)
3	Presión Mínima en la tubería secundaria	$hn = hs - (hf + \frac{S * L}{100})$	hs= Presión a la entrada de la tuberia secundaria (m) hf= Perdidas de carga en la tuberia secundaria (m) S= Pendiente (%) L= Longitud tuberia secundaria (m)

Fuente: Autor

Ahora bien, respecto al **diseño de la tubería principal**, se calcularon las longitudes equivalentes de los accesorios (ver anexo 2) y se utilizó la fórmula de Hazen Williams; además, se halló la presión en la entrada de la tubería principal y la presión mínima.

Tabla 6. Ecuaciones para estimación de tubería principal.

ítem	Descripción	Ecuación	Variables
1	Formula de hazen williams (m)	$hf = 10,648 * \frac{1}{CHW}^{1,852} * \frac{Q^{1,852}}{D^{4,971}} * L$	CHW= 150 Q= Caudal entrada tuberia Principal m3/s D= diametro tuberia Principal m L= Longitud tuberia Principal + Longitud equivalente m
2	Presión a la entrada de la tubería Principal	$hs = \frac{3}{4} * hf + \frac{1}{2} * \frac{S * L}{100}$	hs= Presion a la entrada de la tuberia secundaria (m) hf= perdidas de carga en la tuberia principal(m) S= pendiente (%) L= longitud tuberia Principal(m)
3	Presión Mínima en la tubería Principal	$hn = hs - (hf + \frac{S * L}{100})$	hs= Presión a la entrada de la tuberia principal (m) hf= Perdidas de carga en la tuberia Principal (m) S= Pendiente (%) L= Longitud tuberia Principal(m)

Fuente: Autor

- **Cabezal de riego:** Se hallaron las longitudes equivalentes de los accesorios del cabezal de riego y se calcularon las perdidas con la fórmula de Hazen Williams, como se indica a continuación:

$$hf = 10,648 \left(\frac{1}{chw} \right)^{1,852} * \frac{Q^{1,852}}{D^{4,971}} * L;$$

- **carga que debe perder la bomba:** la cual está dada por:

$$Hb = hm + \sum Hfs + \sum Hfp + \sum Htoc + \frac{s*L}{100} + H, \text{ de donde:}$$

Hb es la carga que debe vencer la bomba, en m.

hm es la carga requerida en la entrada de la tubería múltiple, en m.

$\sum Hfs$ es la suma de las pérdidas por fricción en la tubería secundaria, en m.

$\sum Hfp$ es la suma de las pérdidas por fricción en la tubería principal, en m.

$\sum Hloc$ es la sumatoria de pérdidas localizadas (codos, tee, uniones, ampliaciones, reducciones, válvulas, reguladores, filtros, etc.), en m.

S es la pendiente, en %.

\bar{L} es la longitud de la tubería principal, en m.

- **Capacidad extra de la bomba**

$$(15\%+): Hb * = 0.15 * Hb$$

- **Potencia de la bomba**

$$HPb = \frac{Q * Hb}{120 * Eb}$$

- **Potencia del motor:**

$$Hpm = \frac{Hpb}{Em}$$

- **Sistema de fertiirrigación:** Se realizó una representación de un sistema de fertiirrigación en donde el fertilizante se deposita en un tanque, el cual cuenta con una tubería que conecta al sistema de riego.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGÍA, SUELOS Y TOPOGRAFÍA

3.1.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Para determinar los cálculos de esta variable, los datos se tomaron de la estación meteorológica el juncal (COD-21095010) entre el periodo del 20212 al 2022 e incluye humedad relativa, temperatura máxima, mínima y velocidad del viento. A partir de los anteriores daros y empleando el método establecido en la metodología se determina la evapotranspiración (ETO).

A continuación, se muestran los resultados diarios y mensuales de la evapotranspiración.

Tabla 7. Cálculo de evapotranspiración.


Variables de estimación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Velocidad del viento a 2 m	0,418	0,439	0,393	0,502	0,594	0,911	1,128	1,258	0,777	0,429	0,338	0,437
Constante psicométrica	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
pendiente de la curva de presión de vapor	0,222	0,222	0,221	0,222	0,223	0,225	0,229	0,229	0,234	0,228	0,219	0,219
Presión de vapor de saturación	4,027	4,004	3,982	4,009	4,031	4,095	4,191	4,183	4,304	4,144	3,927	3,935
Presión real de vapor	2,996	2,789	2,921	2,964	2,811	2,630	2,564	2,464	2,607	2,684	2,796	2,734
Radiación neta en la superficie del cultivo	9,071	8,939	8,837	8,725	8,544	9,068	9,958	10,737	10,715	9,816	8,645	8,178
Flujo del calor del suelo	0,036	-0,003	-0,013	0,009	0,012	0,027	0,057	-0,002	0,053	-0,074	-0,104	0,002
Temperatura media del aire	28,194	28,174	28,082	28,149	28,233	28,425	28,829	28,812	29,189	28,663	27,917	27,934
Evapotranspiración promedio diaria	3,054	3,087	2,991	2,997	3,051	3,514	4,017	4,420	4,031	3,451	2,946	2,842
Día por mes	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Evapotranspiración mensual	94,688	89,517	92,726	89,918	94,577	105,415	124,515	137,017	120,935	106,969	88,384	88,116

Fuente: Autor

De acuerdo con el método y los resultados mostrados, se toma como parámetro de referencia la ETO más alta que corresponde al mes de agosto y cuyo valor es de 4,420 mm/día, este valor se emplea junto con el $k_c = 0.65$ para determinar la evapotranspiración de referencia (ETC).

3.1.2. SUELOS

Tabla 8. Resultados laboratorio de suelos

ENTREGA DE RESULTADOS						
 LAGSA Laboratorio Agroambiental de Suelos y Aguas	INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS					Código: ENR -FR-02
						Vigente: 2020-01-30
						Versión: 00
						Página : 1 de 1
DATOS DEL CLIENTE						
SOLICITANTE: Jean Pier Morales Alarcón DIRECCIÓN: Calle 27 N° 50-90			TELÉFONO: 3226352834 E-MAIL: jeanpiercamilo@hotmail.com		CIUDAD: Neiva	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
MUNICIPIO: Juncal, Palermo CULTIVO: Limón Tahiti FECHA DE RECEPCIÓN: 4/07/2023			DEPARTAMENTO: Huila ID CLIENTE: Lote Prazuela2 FECHA DE ENTREGA: 27/07/2023			
RESULTADOS						
Muestra Lab No.	Densidad Aparente	Densidad Real	Gravimétrica		Porosidad Total	Humedad Gravimétrica
	<i>g. cm⁻³</i>		Capacidad de Campo (CC)	Punto de Marchitez Permanente (PMP) %		
533- 23	1.32	2.23	25.38	13.00	40.80	-
Estabilidad Estructural	Límites de Atterberg	Coefficiente de Estabilidad Lineal	Permeabilidad <i>cm³. s⁻¹</i>	Conductividad Hidráulica <i>m. día⁻¹</i>	Infiltración <i>cm. hr⁻¹</i>	Granulometría <i>g</i>
-	-	-	-	-	-	-
Textura de Bouyoucos						
% Arena		% Limo	% Arcilla			
68.73		21.47	9.80		Franco Arenoso	
Textura Organoléptica			Franco			

*Los resultados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente y analizadas en el laboratorio

METODOS	
Humedad gravimétrica: Secada a 105C	Textura: Bouyoucos
Estabilidad estructural: Yoder	CC Y PMP: olla y platos de presión
L.de Atterberg: Líquido, Plástico	Infiltración: Anillos infiltrómetros
Conductividad hidráulica: Pozo Barrenado	Granulometría: Juego de tamices
Porosidad Total: Relación de densidades	Densidad Real: Picnómetro
Permeabilidad del suelo: Permeámetro	Densidad aparente: T. Parafinado



Director de Laboratorio
Armando Torrente Trujillo M.Sc.Ph.D

Carrera 5ª No. 21ª -61 B/ Sevilla Neiva-Huila. Tel. 8666848 Cel. 3142480137
E-mail. Lagsalaboratorio@gmail.com - Comercial@laboratoriolagsa.com

Fuente: Laboratorios LAGSA, 2023.

Según los resultados se establece que el tipo de suelo corresponde a un franco arenoso, cuyo valor de densidad aparente es de 1,32 $g. cm^{-2}$, con una capacidad de campo de 25.38 CC y un punto de marchitez del 13 % con un valor de porosidad de 40.80.

3.1.3. DENSIDAD APARENTE

Tabla 9. Datos densidad aparente

Datos	Volumen Cilindro (Cm3)	Peso Cilindro (Gr)	Peso Filtro y Caucho (Gr)	Peso Húmedo (Gr)	Peso Seco (Gr)	Densidad Aparente (Gr/Cm3)
1.1	85,59043763	65,802	0,988	194,124	178,832	1,309048103
1.2	86,39607974	72,769	0,971	176,972	165,294	1,05970086
1.3	93,26161693	71,56	0,986	201,404	184,99	1,205683578
1.4	88,31151169	70,23	0,958	202,125	192,34	1,371870979
2.1	35,73325741	33,305	0,945	96,648	90,987	1,587792553
2.2	46,72242105	34,487	0,962	100,921	92,931	1,230287273
2.3	87,58163633	65,097	0,933	173,491	161,906	1,09470437
2.4	87,0338968	68,23	0,974	182,483	171	1,175105376

3.1	41,77534118	32,452	0,959	97,803	91,263	1,384836087
3.2	85,06143381	69,32	0,973	101,259	95,649	0,298090437
3.3	87,75421463	66,709	0,981	142,67	135,841	0,776612272
3.4	46,35597069	30,67	0,979	182,651	170,342	2,991912324
4.1	41,9094225	29,608	0,991	91,541	85,97	1,321206466
4.2	46,44567829	33,101	0,99	109,943	100,413	1,427947711
4.3	90,13308834	68,18	0,974	181,398	168,452	1,101681989
4.4	87,21935487	68,73	0,987	186,214	189,473	1,373043864

PROMEDIO (Da)

1,294345265

Fuente: Autor

El valor promedio del valor de densidad aparente es de 1,29

3.1.4. TEXTURA DEL SUELO

Siguiendo los lineamientos del manual de la FAO, se estableció que el tipo de suelo es franco.

3.1.5. PRUEBA DE INFILTRACIÓN

Para esta variable se realizaron 3 pruebas, las cuales los resultados fueron hallados mediante una hoja de cálculo de Excel utilizando el método de los mínimos cuadrados para hallar la infiltración acumulada, después definir la ecuación de la velocidad instantánea y por ultimo determinar la velocidad de infiltración básica.

Tabla 10. Resultados para prueba 1.

n	Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada (cm)	Lamina acumulada (cm)	Infiltración básica (mm/hr)
16	0	0		14,2	0	0	12,51783575
	1	1	13,6		0,6	0,6	
	1	2	13,3		0,3	0,9	
	1	3	12,9		0,4	1,3	
	1	4	12,7		0,2	1,5	
	1	5	12,5		0,2	1,7	
	5	10	12		0,5	2,2	
	5	15	11,8		0,2	2,4	
	10	25	11,5		0,3	2,7	
	10	35	11,2		0,3	3	
	15	50	10,6		0,6	3,6	
	15	65	10,2		0,4	4	
	30	95	9,8		0,4	4,4	
	30	125	9,3	13,8	0,5	4,9	
	60	185	13,1		0,7	5,6	
	60	245	12,3		0,8	6,4	
80	325	11,7		0,6	7		

Fuente: autor

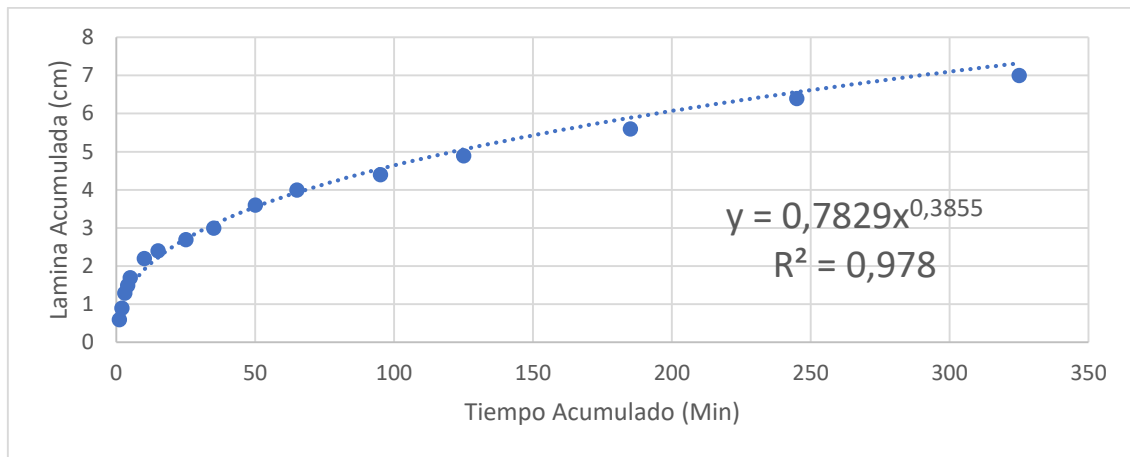


Figura 9. Comportamiento de valores de filtración prueba 1

Fuente: Autor

Respecto a la prueba 2 los datos registrados indican:

Tabla 11. Resultados para prueba 2.

n	Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada (cm)	Lamina acumulada (cm)	Infiltración básica (mm/hr)
	0	0		16,2	0	0	
	1	1	15,6		0,6	0,6	
	1	2	15,3		0,3	0,9	
	1	3	14,9		0,4	1,3	
	1	4	14,7		0,2	1,5	
	1	5	14,5		0,2	1,7	
	5	10	14,1		0,4	2,1	
16	5	15	13,7		0,4	2,5	11,95413687
	10	25	13,5		0,2	2,7	
	10	35	13,1		0,4	3,1	
	15	50	12,7		0,4	3,5	
	15	65	12,3		0,4	3,9	
	30	95	11,8		0,5	4,4	
	30	125	11,3	15,4	0,5	4,9	
	60	185	14,6		0,8	5,7	
	80	265	14,3		0,3	6	
	60	325	14,2		0,1	6,1	

Fuente: Autor

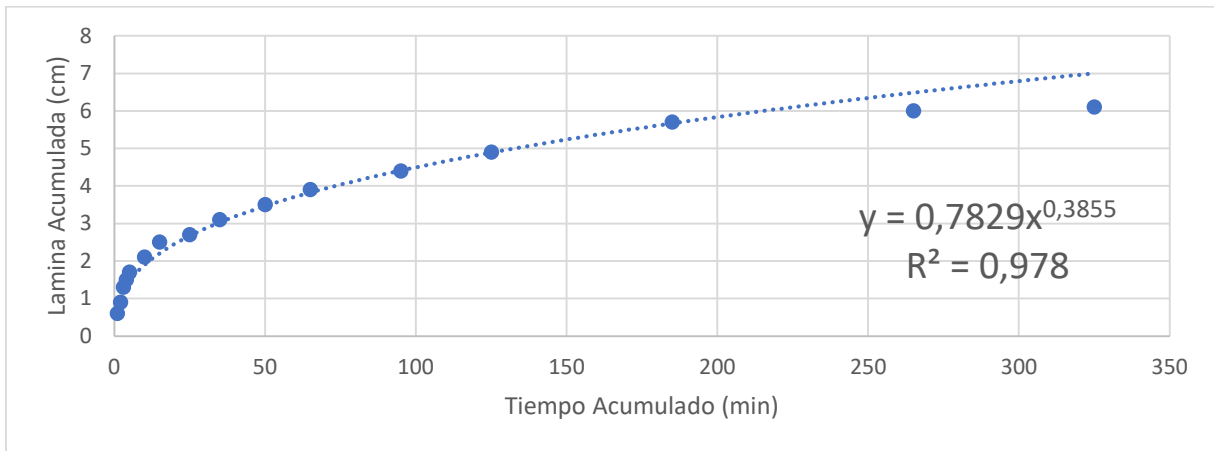


Figura 10. Comportamiento de valores de filtración prueba 2.

Fuente: Autor

Respecto a la prueba 3 los datos registrados indican:

Tabla 12. Resultados para prueba 3.

n	Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada (cm)	Lamina acumulada (cm)	Infiltración básica (mm/hr)
	0	0		15,3	0	0	
	1	1	14,7		0,6	0,6	
	1	2	14,5		0,2	0,8	
	1	3	13,9		0,6	1,4	
	1	4	13,6		0,3	1,7	
	1	5	13,2		0,4	2,1	
	5	10	12,9		0,3	2,4	
	5	15	12,7		0,2	2,6	
	10	25	12,4		0,3	2,9	12,70334869
	10	35	11,9		0,5	3,4	
	15	50	11,5		0,4	3,8	
	15	65	11,2		0,3	4,1	
	30	95	10,7		0,5	4,6	
	30	125	10,3	16,4	0,4	5	
	60	185	15,6		0,8	5,8	
	60	245	15,3		0,3	6,1	
	80	325	14,9		0,4	6,5	

Fuente: Autor

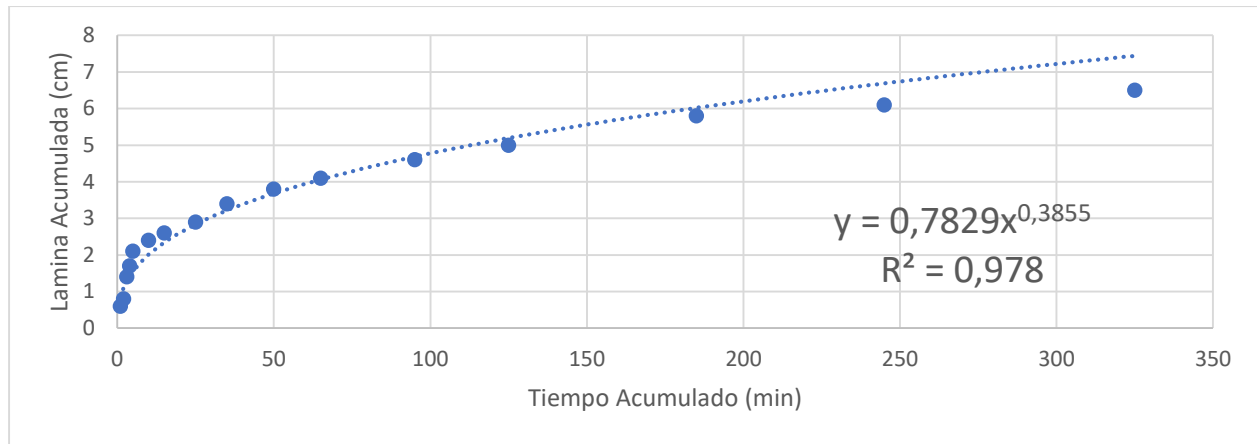


Figura 11. Comportamiento de valores de filtración prueba 3.

Fuente: Autor

Se trabajo con el promedio de las tres pruebas de infiltración, cuyo valor es de 12.38 mm/Hr

3.1.6. TOPOGRAFÍA

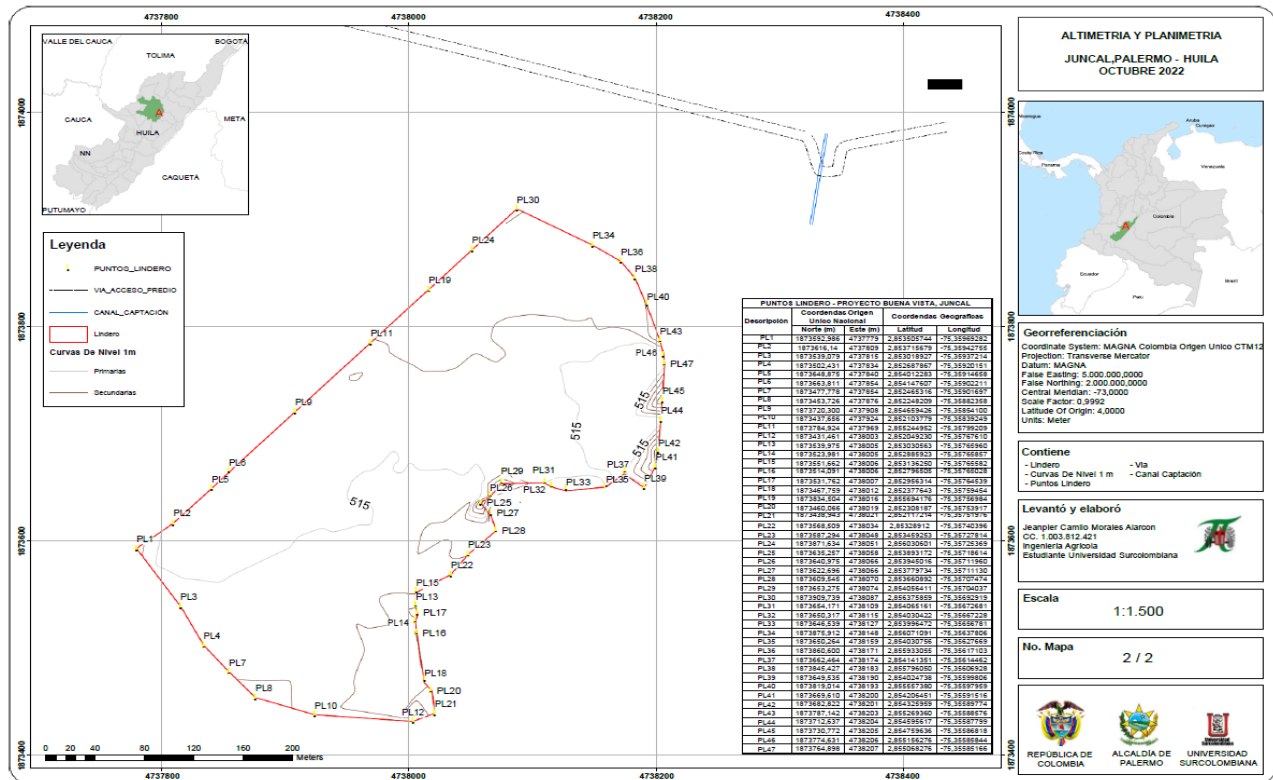


Figura 12. Plano de altimetría y planimetría

Fuente: Autor.

Con las curvas a nivel de 1 m, se puede evidenciar que, el terreno tiene muy baja pendiente, lo cual nos sirve para el proyecto y el sistema de riego seleccionado, dado que favorece la uniformidad del agua, así mismo evita acumulaciones.

3.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

En relación con la selección del sistema de riego se tiene el siguiente análisis:

Una vez analizado los diferentes sistemas de riego localizado, y según la bibliografía consultada el sistema de riego por aspersión ofrece un manejo integral; en sentido COAGROHUILA sostiene que este sistema es el de mayor conveniencia para el proyecto, razón por la cual se selecciona como método para su aplicación.

Tabla 13. Cuadro comparativo de sistemas de riegos focalizados.

Sistema de Riego	Adaptación a Cultivos	Adaptación a Terreno	Consumo de Agua	Calidad de Agua	Eficiencia de Riego	Riego Ambiental	Dispersión de Plagas y Enfermedades	Mano de Obra	Tecnología	Costo	Ventajas	Desventajas
Goteo	Alta	Alta	Muy bajo	Requiere buena calidad	Muy alta	Bajo	Muy bajo	Requiere alta capacitación	Media-alta	Alta	Ahorra agua, eficiente en terrenos irregulares, reduce riego de enfermedades, permite fertirrigación. Permite riego homogéneo en cultivos frutales y ornamentales, es adaptable a diferentes tipos de terreno, menos riego de obstrucciones. Excelente para cultivos de raíz, bajo consumo de agua, fácil instalación y bajo costo.	Alto costo inicial, requiere mantenimiento frecuente, sensible a obstrucciones.
Microaspersión	Media-alta	Media-alta	Bajo	Moderada	Alta	Bajo	Media	Media	Media-alta	Media	Excelente para cultivos de raíz, bajo consumo de agua, fácil instalación y bajo costo. Eficiente, reduce evaporación, menor riego de enfermedades, menos interferencia con actividades agrícolas.	Mayor consumo de agua que el goteo, dispersión de plagas y enfermedades moderada.
Exudación	Alta	Media	Muy bajo	Alta	Muy alta	Bajo	Muy bajo	Requiere baja capacitación	Baja	Baja	Sensible a la calidad del agua (riego de obstrucción), no apto para terrenos inclinados.	
Subterráneo (goteo)	Alta	Alta	Muy bajo	Requiere excelente calidad	Muy alta	Muy bajo	Muy bajo	Alta	Alta	Muy alta	Costoso de instalar y mantener, difícil detección de problemas exige diseño preciso y experiencia técnica.	
Aspersión convencional	Media	Media	Medio	Moderada	Media	Medio	Alta	Baja	Baja	Media-baja	Cubrimiento amplio, adaptable a terrenos planos o con ligera pendiente.	Mayor consumo de agua, dispersión de plagas y enfermedades elevada, menos eficiente que otros sistemas localizados.

Fuente: (Mahecha V, 2018; Obaideen et al., 2022),(Levidow et al., 2014)

3.3. DISEÑO AGRONÓMICO DEL SISTEMA DE RIEGO

Para el diseño del sistema agronómico se consideraron los siguientes datos de entrada los cuales se reemplazaron en las ecuaciones de la tabla 2. Según lo anterior se tiene:

Tabla 14. Datos de entrada

Nombre lote	PRAZUELA #2
Cultivo	LIMON TAHIT
Área a regar	10 HA
Tipo de suelo	FRANCO
Caudal disponible	116 l/s
Infiltración básica	12,38 mm/hr
Evapotranspiración	4,42 mm/día
kc	0,65
Riego	LOCALIZADO - MICROASPERSION
Carga micro aspersor	20,4 mca
Diámetro húmedo micro aspersor	4 m
Caudal micro aspersor	27 l/hr
Eficiencia de riego	85%
Distancia micro aspersores	6 m
Distancias laterales	6 m
Diámetro sombra	4 m
Frecuencia riego	1 día

Fuente: Autor

En relación con los datos del emisor se tiene:

Nombre emisor: Micro aspersor auto – compensado Smart spin (Naandanjain)- Boquilla de color negro- Diámetro de salida de 0,64 mm

Tabla 15. Datos de ingreso emisor

Variable	Valor	Unidad medida
Q	27	L/h
H	20.4	mca
Diámetro mojado	4,4	m

Tabla de Rendimiento del Smart Spin: Caudal (l/h) y Diámetro de mojado (m) a diversas presiones (bar)								
Color de boquilla	Diámetro de boquilla (mm)	Presión (bar)	Caudal (l/h)	Rotor Rango Mini	Rotor Rango Medio	Rotor Rango Extra	Rotor invertido	
							probado a una altura de 0.60 m	probado a una altura de 1.80 m
Negro	0.64	0.7	15	3.0	4.5		4.0	6.0
		1.0	19	4.0	5.0		5.0	6.5
		1.5	23	4.0	5.5		5.0	6.5
		2.0	27	4.0	5.5		5.5	6.5
		2.5	30	4.0	5.5		5.5	6.5
		3.0	33	4.0	5.5		5.5	6.5

Fuente: Naandanjain Irrigation Ltda (2018).

Tabla 16. Resultados diseño agronómico

Ítem	Descripción	Resultado
1	Pluviometría del emisor (mm/hr)	2,1485
2	Área que desea humedecer el marco de plantación (m2)	14,4
3	Área que moja el emisor (m2)	12,56
4	Numero de Micro aspersores por árbol	1,14
5	Porcentaje humedecido (%)	34,9
6	Lamina aplicar (mm)	3,38
7	Dosis de Aplicación	42,47
8	Tiempo de aplicación (hr)	1,57
9	Numero de sectores calculados	5,085
10	Área del sector (ha)	2
11	Caudal del sector (l/s)	4,16
12	Módulo de riego (l/s*ha)	2,083
13	Número de plantas por sector	555,5

Fuente: Autor

Como la pluviometría del emisor, es menor que la infiltración básica del suelo se acepta el microaspersor anteriormente seleccionado.

3.4. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO

Para los micro aspersores auto compensados se permite perder el 20% de la presión a la entrada del lateral, lo cual en nuestro caso y según los catálogos del micro aspersor, se maneja una presión de 2 bares a la entrada lateral, a partir de lo anterior se tiene:

$$2 \text{ bar} * \frac{10.2 \text{ m}}{1 \text{ bar}} = 20.4 \text{ m}$$

$$\Delta HS = \text{Carga del emisor} * 20\%$$

$$\Delta HS = 20.4 * 0.2 = 4.08 \text{ m}$$

En terreno horizontal o de pequeña pendiente, ΔH_s se suele repartir de tal forma que, se considera como carga permisible para ambas tuberías, la mitad de la pérdida aceptada para toda la subunidad: $\Delta h_l = \Delta h_t = \frac{1}{2} \Delta H_s$.

Tabla 17. Perdidas permisibles en la subunidad.

ΔH_S	4.08	M		
se permite perder dentro de la subunidad de riego 4.08 m				
$\Delta H_L =$	0,5	ΔH_S	2.04	m
$\Delta H_T =$	0,5	ΔH_S	2.04	m

Fuente: Autor

ΔH_L : Perdida de carga permisible en el lateral (m)

ΔH_T : Perdida de carga permisible en la terciaria (m)

3.4.1. DISEÑO LATERAL DEL RIEGO

Se propone un diámetro de la tubería del lateral de $1\frac{1}{4}$ plg acuaflex de polietileno de Pavco.

Tabla 18. Diámetro nominal acuaflex de polietileno.

PE 40 / PN 10 Presión Nominal (PN) de Trabajo a 23°C : 10Bar - 145 Psi (RDE 7,5)					
Diámetro Nominal mm.	Referencia	Diámetro Exterior RDE Prom.	Espesor de Pared Mínimo	Diam. Interior mm	Presentación
16	2900289	16	2.3	11.40	Rollo 150mts.
20	2900293	20	2.8	14.40	Rollo 150mts.
25	2900294	25	3.5	18.00	Rollo 150mts.
32	2900295	32	4.4	23.20	Rollo 150mts.

* Bajo Pedido

Fuente: (Pavco, 2019)

Tabla 19. Resultados de diseño lateral del sistema de riego.

ítem	Variables	Descripción	Resultado
1		Número de árboles a regar por lateral	23,3
2		Cálculo del caudal de entrada en los laterales (l/hr)	621
		Cálculo del caudal de entrada en los laterales (l/s)	0,1725
Se propone un diámetro de la tubería del lateral de (1 1/4Plg) ACUAFLEX DE POLIETILENO DE PAVCO			
DARCY WEISBACH			
$hf = 0,0826 * fDW * \frac{Q^2}{D^5} * L$			
3		Velocidad (m/s)	0,408
	Temperatura	Viscosidad Cinemática	
	20	Viscosidad Cinemática 10-6 (m/s)	1,007
4		Numero Reynolds	9401,144
	Material	Rugosidad Absoluta	
	Plástico Pvc y PE	Ra (mm)	0,0015
5		Rugosidad Relativa	6,47E-05
6		Factor Fricción (Formula de Swamme) (m)	0,0315
7		Coefficiente de resistencia a la fricción del agua (m)	54226076
8		Perdida de carga (m)	1,613
	β=1.75	Factor de Christinsen I0=1	
	23	F	0,386
9		Perdidas de carga en el lateral	0,622
10		Presión a la entrada del lateral	21,49
11		Presión Mínima en el lateral	19,61
12		Cálculo de la diferencia de presión	1,88

Fuente: Autor

Como el criterio establecido, era que, en el lateral solo se podía perder 2.04 m; entonces:

$$2.04 - 1.88 = 0.15$$

Según lo anterior, las pérdidas permisibles están por debajo de lo que me permite perder, por eso se acepta el diámetro de 1 ¼ plg para el lateral.

3.4.2. DISEÑO TUBERÍA MULTIPLE

Respecto a los resultados de la tubería múltiple se tiene:

Tabla 20. Diámetro nominal en tuberías múltiples.

RDE - 41 PVC Tipo I, Grado I Presión de trabajo a 23°C 100 psi - 7.03 kg/cm²	60	2	1334136007	60.32	2.375	1.52	0.060	0.5
	73	2 1/2	1334136008	73.02	2.875	1.78	0.070	0.7
	88	3	1334136009	88.90	3.500	2.16	0.085	1.0
	114	4	1334136010	114.30	4.500	2.79	0.110	1.5
	168	6	1334136011	168.28	6.625	4.11	0.162	3.4
	219	8	1334136012	219.08	8.625	5.33	0.210	5.6
	273	10	1334136014	273.05	10.750	6.65	0.262	8.7
	323	12	1334136016	323.85	12.750	7.90	0.311	12.2

Fuente: (Durman Esquivel, 2005)

Tabla 21. Resultados de tubería múltiple.

Ítem	Variables	Descripción	Resultado
1		Número de Laterales	18
2		Cálculo del caudal de entrada en el múltiple (l/hr)	11178
		Cálculo del caudal de entrada en el múltiple (l/s)	4,16
Se propone un diámetro de la tubería terciaria de (2 ½ plg) de polietileno de Durman			
DARCY WEISBACH			
$hf = 0,0826 * fDW * \frac{Q^2}{D^5} * L$			
3		Velocidad (m/s)	1,098
		Viscosidad Cinemática	
	Temperatura	Viscosidad Cinemática 10-6 (m/s)	1,007
	20	1,007	
4		Numero Reynolds	75746,618
		Rugosidad Absoluta	
	Material	Ra (mm)	0,0015
	Plástico PVC y PE	0,0015	
5		Rugosidad Relativa	0,0000216
6		Factor Fricción (Formula de Swamme) (m)	0,01894
7		Coefficiente de resistencia a la fricción del agua (m)	101816,032
8		Perdida de carga (m)	1,76
		Factor de Christinsen I0=1/2	
	β=1.75	F	0,374
	18	0,374	
9		Perdidas de carga en el Múltiple (m)	0,6589
10		Presión a la entrada del Múltiple (m)	22,46
11		Presión Mínima en el Múltiple (m)	20,85
12		Cálculo de la diferencia de presión (m)	1,603

Fuente: Autor

Como el criterio que habíamos puesto era que en la tubería terciaria solo se podían perder 2.04 m; entonces: $2.04m - 1.60m = 0,44m$.

Aquí, las pérdidas permisibles están por debajo de lo que me permite perder, por eso se acepta el diámetro de 2 1/2 plg para los múltiples.

3.4.3. DISEÑO DE TUBERÍA SECUNDARIA Y PRINCIPAL

Tabla 22. Resultados diseño tubería secundaria.

Diámetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Longitud equivalente (m)	Longitud (m)	Perdidas tubería secundarias (m)	Presión a la entrada de la tubería secundaria (m)	Presión Mínima en la tubería secundaria (m)
0,06944	0,00416	36,3	430	7,923	28,87	17,08

Fuente: Autor

Tabla 23. Resultados diseño tubería principal.

Diámetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Longitud equivalente (m)	Longitud (m)	Perdidas tubería Principal (m)	Presión a la entrada de la tubería Principal (m)	Presión Mínima en la tubería Principal (m)
0,06944	0,00416	7,76	190	3,36	31,87	26,8

Fuente: Autor

Cabezal de riego

$$hf = 10,648 \left(\frac{1}{150} \right)^{1,852} * \frac{0,004160^{1,852}}{0,06944^{4,971}} * 61,48 = 1,044m$$

Carga que debe perder la bomba

$$Hb = 22,46 + 7,923 + 3,360 + 1,04 + \frac{0,9 * 190}{100} = 36,50mm$$

Capacidad extra de la bomba (15%+)

$$Hb * = 0.15 * 36,50m = 5,47m$$

Potencia de la bomba

$$HPb = \frac{4.16 * 41,97}{120 * 0.85} = 2,014 kw$$

Potencia del motor

$$Hpm = \frac{2,014 \text{ kw}}{0.9} = 2.237kw$$

3.5. PRESUPUESTO

Tabla 24. Estimación de presupuesto

DISEÑO RIEGO MICROASPERSION PARA LIMON TAHITI					
ACTIVIDADES	UN	CANT	V. UNITARIO	V. TOTAL	V. CAPITULO
1 Excavación					
1.1 Excavación tubería principal (0.5x0.2)	m3	19	\$ 80.000,00	\$ 1.520.000,00	
1.2 Excavación tubería secundaria (0.5x0.2)	m3	44	\$ 80.000,00	\$ 3.520.000,00	
1.3 Excavación tubería Multiple (0.5x0.2)	m3	47	\$ 80.000,00	\$ 3.760.000,00	
SUBTOTAL					\$ 8.800.000,00
2 Instalaciones laterales					
2.1 Manguera revestida 1 1/4" x 150m PE	UN	109	\$ 675.750,00	\$ 73.656.750,00	
Microaspersor SMART SPIN + Stand (4/7					
2.2 PES stand 0,60 m Longitud)	UN	2618	\$ 4.658,00	\$ 12.194.644,00	
2.3 Conector inicial	UN	164	\$ 500,00	\$ 82.000,00	
2.4 Empaque conector inicial	UN	164	\$ 550,00	\$ 90.200,00	
SUBTOTAL					\$ 86.023.594,00
3 Instalación tubería Multiple					
3.1 Tubería 2 1/2" x 6m PVC	UN	77	\$ 50.800,00	\$ 3.911.600,00	
3.2 Unión 2 1/2" PVC	UN	76	\$ 2.721,00	\$ 206.796,00	
3.3 Tapones 2 1/2"PVC	UN	10	\$ 5.021,00	\$ 50.210,00	
SUBTOTAL					\$ 4.168.606,00
4 Instalación tubería secundaria					
4.1 Tubería 2 1/2" x 6m PVC	UN	75	\$ 68.401,00	\$ 5.130.075,00	
4.2 Unión 2 1/2" PVC	UN	72	\$ 2.721,00	\$ 195.912,00	
4.3 Tee 2 1/2" PVC	UN	5	\$ 38.000,00	\$ 190.000,00	
4.4 Codo 90° 2 1/2" PVC	UN	5	\$ 28.900,00	\$ 144.500,00	
4.5 Tapones 2 1/2"PVC	UN	1	\$ 5.021,00	\$ 5.021,00	
SUBTOTAL					\$ 5.665.508,00
5 Instalación arcos de riego					
5.1 Tubería 2" x 6m PVC	UN	5	\$ 50.800,00	\$ 254.000,00	
5.2 Codos 90° 2" PVC	UN	5	\$ 12.118,00	\$ 60.590,00	

5.3	Tee 2" PVC	UN	15	\$ 15.483,00	\$ 232.245,00	
5.4	Válvulas 2"	UN	5	\$ 68.415,00	\$ 342.075,00	
5.5	Adaptador Macho 2"	UN	10	\$ 8.415,00	\$ 84.150,00	
5.6	Reducción 2" PVC	UN	10	\$ 35.682,00	\$ 356.820,00	
5.6	Reducción 1/2" PVC	UN	5	\$ 3.300,00	\$ 16.500,00	
5.7	Válvula de aire 3/4"	UN	5	\$ 39.000,00	\$ 195.000,00	
SUBTOTAL						\$ 1.541.380,00
6 Instalación tubería principal						
6.1	Tubería 2 1/2" x 6m PVC	UN	32	\$ 68.401,00	\$ 2.188.832,00	
6.2	Unión 2 1/2" PVC	UN	31	\$ 4.448,00	\$ 137.888,00	
6.3	Codo 45° 2 1/2" PVC	UN	1	\$ 22.199,00	\$ 22.199,00	
6.4	Codo 90° 2 1/2" PVC	UN	1	\$ 28.900,00	\$ 28.900,00	
SUBTOTAL						\$ 2.377.819,00
7 Cabezal de riego						
7.1	Construcción Base	m2	36	\$ 170.000,00	\$ 6.120.000,00	
7.2	Filtro de disco 2"	UN	1	\$ 328.487,00	\$ 328.487,00	
7.3	Filtro de malla 3/4	UN	2	\$ 29.500,00	\$ 59.000,00	
7.4	codo 90° 2" PVC	UN	14	\$ 12.118,00	\$ 169.652,00	
7.5	tee 2" PVC	UN	4	\$ 15.483,00	\$ 61.932,00	
7.6	Tapón 2" PVC	UN	1	\$ 8.210,00	\$ 8.210,00	
7.7	válvula 2"	UN	3	\$ 68.415,00	\$ 205.245,00	
7.8	Llave de paso 2"	UN	6	\$ 18.900,00	\$ 113.400,00	
7.9	nanómetro	UN	1	\$ 147.440,00	\$ 147.440,00	
	Tanque plástico	UN	2	\$ 479.900,00	\$ 959.800,00	
8	bomba Pearl c2p40 3kW	UN	1	\$ 2.411.000,00	\$ 2.411.000,00	
SUBTOTAL						\$ 10.525.166,00
9 SUBTOTAL COSTO DIRECTO						\$ 119.102.073,00
9.1	Imprevistos			\$ 8.337.145,11	\$ 8.337.145,11	\$ 8.337.145
9.2	Utilidad			\$ 7.146.124,38	\$ 7.146.124,38	\$ 7.146.124,38
Iva 19% sobre utilidad				\$ 1.357.763,63	\$ 1.357.763,63	\$ 1.357.763,63
TOTAL, PESO MONEDA COLOMBIANA						\$ 134.585.342,49

Fuente: Autor

4. CONCLUSIONES

El estudio de suelos refleja que el lote prazuela # 2, es un lugar apto para el establecimiento del cultivo de limón Tahití; ya que cuenta con un suelo de textura franco arenoso; adicionalmente lo anterior se complementa con el diseño final del sistema de riego para un óptimo uso del agua en el cultivo.

Según el resultado obtenido y de acuerdo con los requerimientos del sistema de riego, el caudal necesario, para suplir las necesidades hídricas de cada subunidad es de 4,16 l/s, considerando que el caudal autorizado por ASOJUNCAL, es mucho mayor, dado que, la Hacienda Buena Vista tiene que suplir las necesidades hídricas de otros cultivos y potreros.

La proyección del presupuesto plantea un escenario de alta inversión, por lo que es necesario que dichos costos deben alcanzar un punto de equilibrio para el retorno del capital invertido; de aquí la importancia de que tanto el diseño agronómico e hidráulico deben ser lo más exactos posible, para evitar desviaciones en el desarrollo del cultivo y a su vez afecte su capacidad de producción.

Se necesita una bomba eléctrica para vencer las pérdidas de carga en el sistema; la potencia necesaria debe ser mayor a 2,3 Kw.























Se calcularon 5 subunidades de riego, en aras de presentar un sistema más eficiente, el cual se caracteriza por contar con válvulas independientes para riego de cada subunidad con frecuencias diarias y dentro de la jornada de trabajo compuesta por 8 horas.

5. ANEXOS

Anexo 1. Carta solicitud.

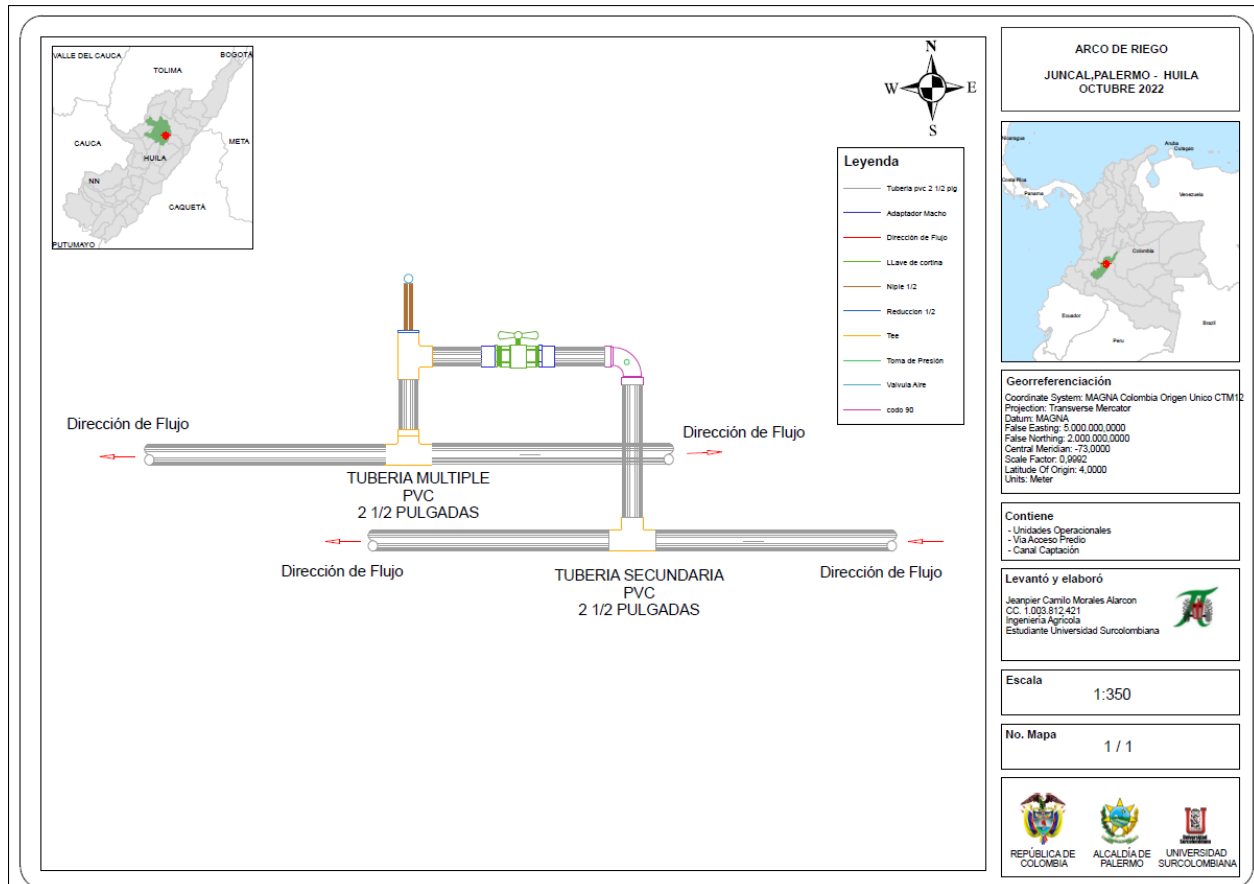


Anexo 2. Longitudes equivalentes de los accesorios.

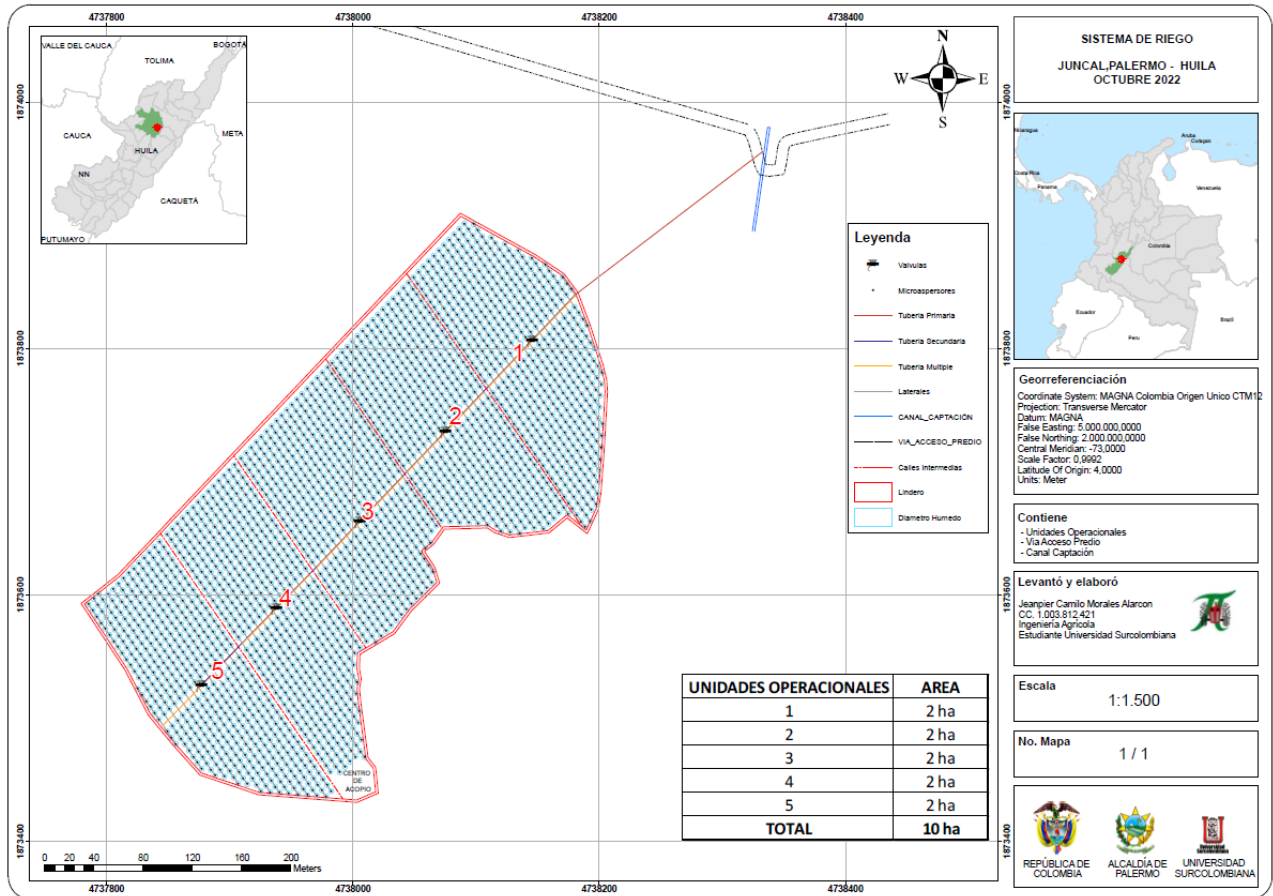
Clase de resistencia aislada	Diámetros de las tuberías (") (mm)	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
		10	16	20	26	32	40	50	65	80	100	125	150
	manguito de unión	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,09	0,12	0,15	0,20	0,25
	cono de reducción	0,20	0,30	0,50	0,65	0,85	1,00	1,30	2,00	2,30	3,00	4,00	5,00
	codo o curva de 45°	0,20	0,34	0,43	0,47	0,56	0,70	0,83	1,00	1,18	1,25	1,45	1,63
	curva de 90°	0,18	0,33	0,45	0,60	0,84	0,96	1,27	1,48	1,54	1,97	2,61	3,43
	codo de 90°	0,38	0,50	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71	1,94	2,01	2,21	2,94	3,99
	"te" de 45°	1,02	0,84	0,90	0,96	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,30
	"te" arqueada o de curvas ("pantallas")	1,50	1,66	1,80	1,92	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40	6,00	6,60
	"te" confluencia de ramal (paso recto)	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20
	"te" derivación a ramal	1,80	2,50	3,00	3,60	4,10	4,60	5,00	5,50	6,20	6,90	7,70	8,90
	válvula retención de batiente de presión	0,20	0,30	0,55	0,75	1,15	1,50	1,90	2,65	3,40	4,65	6,60	8,30
	válvula retención paso de escuadra	1,33	1,70	2,32	2,85	3,72	4,67	5,76	6,91	8,40	11,1	12,8	15,4
	válvula de compuerta abierta	5,10	5,40	6,50	8,50	11,50	13,0	16,5	21,0	25,0	36,0	42,0	51,0
	válvula de paso recto y asiento inclinado	0,14	0,18	0,21	0,26	0,36	0,44	0,55	0,69	0,81	1,09	1,44	1,70
	válvula de globo	1,10	1,34	1,74	2,28	2,89	3,46	4,53	5,51	6,69	8,80	10,8	13,1
	válvula de escuadra o ángulo (abierta)	4,05	4,95	6,25	8,25	10,8	13,0	17,0	21,0	25,0	33,0	39,0	47,5
	válvula de asiento de paso recto	1,00	2,56	3,36	4,30	5,60	6,86	8,60	11,1	13,7	17,1	21,2	26,6
	intercambiador	—	—	—	2,1	5	12,5	13,2	14,2	25	—	—	—
	radiador	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	radiador con valvulería	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50	8,00	10,00
	caldera	3,75	4,40	5,25	6,00	6,75	7,50	8,80	10,10	11,40	12,70	14,00	15,00
	caldera con valvulería	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50	8,00	10,00
	contador	3,00	4,20	4,90	5,60	6,30	7,00	8,00	8,75	9,50	10,00	11,00	12,00
	general individual o divisionario				4,5 m.c.d.s.	10 m.c.d.s.							

Nota. Para tuberías lisas ($k = 0,05 \text{ mm}$) multiplicar los valores del cuadro por 1,40.

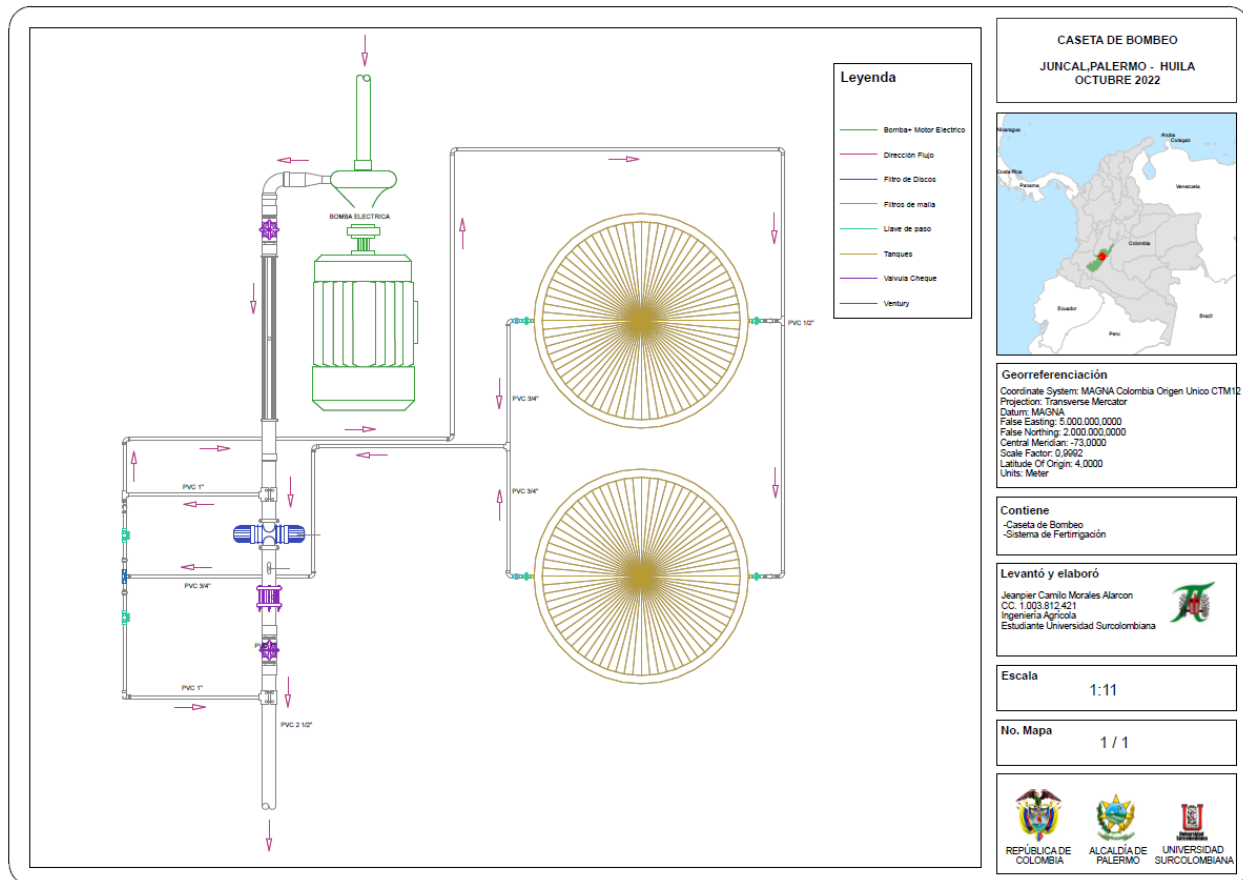
Anexo 3. Plano de arco de riego.



Anexo 4. Plano de sistema de riego.



Anexo 5. Caseta de bombeo con sistema de fertiirrigación.



6. REFERENCIAS

- Abdou, S. (2023). IMPACT OF SOME LOCALIZED IRRIGATION SYSTEMS ON LEMON FRUIT YIELD. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/mjae.2023.216607.1106>
- Acevedo, F. A. de, Almeida, R. F. de, Martinelli, R., Próspero, A. G., Licerre, R., Conceição, P. M. da, Arantes, A. C. C., DAVIS, V. L., Boaretto, R. M., & Mattos, D. (2020). No-Tillage and High-Density Planting for Tahiti Acid Lime Grafted Onto Flying Dragon Trifoliolate Orange. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00108>
- Delgadillo, O. (2016). *Prueba de infiltración del suelo-Método de la doble anilla Medición de la infiltración del agua en el suelo* (2nd ed., Vol. 1). Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). https://www.academia.edu/44374094/Prueba_de_infiltraci%C3%B3n_del_suelo_M%C3%A9todo_de_la_doble_anilla_Medici%C3%B3n_de_la_infiltraci%C3%B3n_del_agua_en_el_suelo
- Dorado G, D., Grajales, L., & Rojas, L. (2015). Effect of irrigation and fertilization on crop yield and fruit quality of the Tahiti lime *Citrus latifolia* Tanaka (Rutaceae). *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 87–93. https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:382
- Durman Esquivel. (2005). *Tubos y Accesorios de PVC PRESION*. www.durman.com
- FAO. (2006, April). 6. *TEXTURA DEL SUELO*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- FAO. (2014). *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (2nd ed., Vol. 1). <https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s00.htm>
- Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M., & Scardigno, A. (2014). Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. *Agricultural Water Management*, 146, 84–94. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2014.07.012>
- Morais, A. L. de, Zucoloto, M., Malikouski, R. G., Babosa, D. H. S. G., Passos, O. S., & Altoé, M. S. (2020). Vegetative development and production of ‘Tahiti’ acid lime clone selections grafted on different rootstocks. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(3), e-585. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020585>
- Murcia Riaño, N., Martínez, M. F., Orduz-Rodríguez, J. O., Ríos-Rojas, L., López Galé, Y., Yacomelo Hernández, M. J., Carabalí Muñoz, A., Kondo, T., García Muñoz, M. C., López González, J., Pérez Artilles, L., Rodríguez Mora, D. M., Montes Rodríguez, J. M., Betancourt Vásquez, M., Rodríguez Torres, I. V., Barreto Rojas, J. A., Tarazona Velásquez, R., Mateus Cagua, D. M., Velásquez Ramírez, H. A., ... Mesa, N. C. (2020). Modelo productivo de lima ácida Tahití (*Citrus × latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez) para Colombia. In *Modelo productivo de lima ácida Tahití (Citrus × latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez) para Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7403435>
- Naandanjain Irrigation Ltda. (2018). *Manual-microaspersores: Vol. 1(1)* (2nd ed.). <https://recursos.riegoaysen.cl/wp-content/uploads/2023/06/Manual-microaspersores.pdf>

Pavco. (2019). *Índice General Tuberías PEAD Acuaflex PAVCO*. <https://pavcowavin.com.co/manuales-tecnicos>

Pinto, J. V. de N., Costa, D. L. P., Costa, A. P. da S., Pires, M. P., Rolim, G. de S., de Sousa, A. M. L., Ortega-Farias, S., & de Souza, P. J. de O. P. (2023). Fruit yield and gas exchange of Tahiti lime at different irrigation depths in the Amazon. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27(6), 463–471. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/AGRIAMBI.V27N6P463-471>

PROEXPORT. (2022, March 23). *Limón Tahití le sacó el jugo a sus exportaciones*. <https://procolombia.co/sala-de-prensa/noticias/limon-tahiti-le-saco-el-jugo-sus-exportaciones-en-los-cuatro-primeros-meses-del-ano>

Rios-Rojas, L., Chaali, N., Jaramillo-Barríos, C. I., Ouazaa, S., & Correa, J. F. (2020). Irrigation and nutrition as criteria for adequate management of Tahiti acid lime trees affected by a physiological disorder in tropical conditions. *Scientia Horticulturae*, 270, 109438. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109438>