

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**

**Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria**

**Ingeniería Agronómica**



Proyecto Especial de Graduación

**Evaluación técnica de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de  
banano (*Musa Paradisiaca* L.) en la Hacienda Elpaban, Ecuador**

Estudiante

Diego Estuardo Dávila Loayza

Asesores

José Adrián Ordoñez Bonilla, Mtr.

Jeffrey Jose Diaz Sierra, M.Sc.

Jofiel Ramon Jirón Zeledón, Ing.

Honduras, Julio, 2022

## **Autoridades**

**TANYA MÜLLER GARCÍA**

Rectora

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**CELIA O. TREJO RAMOS**

Directora Departamento de Ciencias y Producción Agropecuaria

**HUGO ZAVALA MEMBREÑO**

Secretario General

### **Agradecimientos**

Agradezco a mi papá por su aporte con los conocimientos del cultivo de banano y por apoyarme al momento de comenzar con la recolección de datos de mi proyecto especial de graduación.

Agradezco a mis asesores, al ingeniero J. Ordoñez por darme los recursos iniciales para comenzar mi proyecto y acompañarme en todas las etapas, al ingeniero J. Díaz por brindarme conocimientos nuevos en la elaboración de mapas y al ingeniero J. Jirón que en el momento más complicado me apoyo para cumplir mis metas y finalizar mi proyecto especial de graduación.

## Contenido

|   |    |
|---|----|
| Índice de Cuadros.....  | 6  |
| Índice de Figuras .....   | 8  |
| Índice de Anexos.....   | 9  |
| Resumen .....   | 10 |
| Abstract.....   | 11 |
| Introducción.....   | 12 |
| Materiales y Métodos .....  | 15 |
| Descripción del Lugar .....   | 15 |
| Fuente de Agua.....   | 15 |
| Datos Climatológicos de la Zona.....  | 16 |
| Descripción del Estudio.....  | 17 |
| Recolección de Información General.....                                     | 17 |
| Toma de Coordenadas Perimetales.....  | 17 |
| Determinación y Evaluación del Diseño Agronómico del Sistema de Riego ..... | 17 |
| Elaboración de Mapas.....   | 17 |
| Parámetros Agronómicos del Sistema de Riego .....                           | 19 |
| Determinación y Evaluación del Diseño Hidráulico del Sistema de Riego.....  | 22 |
| Mapa de Tuberías .....  | 22 |
| Parámetros Hidráulicos del Sistema de Riego .....                           | 22 |
| Resultados y Discusión.....   | 27 |
| Estudio Agronómico.....   | 27 |
| Mapa Perimetral .....   | 27 |
| Mapa de Texturas de Suelo .....   | 27 |
| Mapa de Sectores de Riego .....   | 29 |
| Mapa Topográfico.....   | 30 |

|   |    |
|---|----|
| Mapa Integrado de la Hacienda Elpaban.....                | 31 |
| Variables Climáticas Consideradas en el Diseño.....       | 32 |
| Evaluación Agronómica.....                                | 33 |
| Evaluación Hidráulica.....                                | 35 |
| Mapa y Evaluación Hidráulica de Tuberías.....             | 35 |
| Evaluación de la Estación de Bombeo.....                  | 40 |
| Propuesta de Diseño Agronómico.....                       | 42 |
| Propuesta de Diseño Hidráulico.....                       | 44 |
| Evaluación de la Estación de Bombeo con la Propuesta..... | 48 |
| Conclusiones.....   | 52 |
| Recomendaciones.....                                      | 53 |
| Referencias.....  | 54 |
| Anexos.....   | 56 |

### Índice de Cuadros

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 1 Análisis de parámetros de calidad de agua de la fuente de riego proveniente del río Ruidoso, Cañar, Ecuador.....   | 16 |
| Cuadro 2 Datos de temperatura, humedad relativa, ETo y precipitación del año 2020 Hacienda Cañas Banana, Puerto Inca, Ecuador .....                                     | 16 |
| Cuadro 3 Tasa de infiltración básica para los tipos de suelo encontrados en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.....  | 28 |
| Cuadro 4 Distribución de los sectores de riego y superficie en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....  | 30 |
| Cuadro 5 Variables para considerar en el diseño del sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....   | 32 |
| Cuadro 6 Evaluación agronómica del sistema de riego actual de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....   | 34 |
| Cuadro 7 Perdidas de carga en tuberías secundarias en los diferentes sectores de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....                                     | 37 |
| Cuadro 8 Velocidades críticas y sus pérdidas de carga en tuberías principales del sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.....                          | 38 |
| Cuadro 9 Carga dinámica total y caudal instantáneo por sectores de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.....  | 39 |
| Cuadro 10 Ejemplo de carga dinámica total del sector 13 de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador..  | 40 |
| Cuadro 11 Propuesta de diseño agronómico para el sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....  | 44 |
| Cuadro 12 Propuesta de tuberías secundarias para el sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.....  | 46 |
| Cuadro 13 Velocidades y sus pérdidas de carga en la propuesta de tuberías principales representativas del sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. .... | 47 |

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 14 Carga Dinámica Total y caudal instantáneo de la propuesta del sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....               | 48 |
| Cuadro 15 Exceso de presión controlado por las válvulas reguladoras de presión por cada sector de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador..... | 51 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Ubicación de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....   | 15 |
| Figura 2 Mapa perimetral de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....   | 27 |
| Figura 3 Mapa de texturas de suelo de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....   | 28 |
| Figura 4 Mapa de sectores de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....   | 29 |
| Figura 5 Mapa topográfico de la Hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....  | 31 |
| Figura 6 Mapa integrado de suelos, topografía y sectores de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....   | 32 |
| Figura 7 Mapa de traslape área 3 en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....   | 35 |
| Figura 8 Mapa de tuberías principales y secundarias de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....  | 36 |
| Figura 9 Curva de rendimiento Bomba A y puntos de trabajo para los sectores de riego 11-12-14-15-16-17-18-19-20. ....   | 41 |
| Figura 10 Curva de rendimiento Bomba B y puntos de trabajo para los sectores de riego 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-13. ....   | 42 |
| Figura 11 Propuesta de sectores de riego para la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....   | 43 |
| Figura 12 Propuesta de distribución de tuberías primarias y secundarias para el sistema de riego de la Hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. ....                             | 45 |
| Figura 13 Punto de trabajo alcanzado para regar los sectores 13-24 en el sistema de riego, bajo la nueva propuesta de diseño de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. .... | 49 |
| Figura 14 Punto de trabajo alcanzado para regar los sectores 1-12 en el sistema de riego, bajo la nueva propuesta de diseño, de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. .... | 50 |



## Índice de Anexos

|  |    |
|--|----|
| Anexo A Herramienta de evaluación utilizada para evaluar el sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador..... | 56 |
| Anexo B Medición de distancia entre aspersores y laterales de riego en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.....          | 57 |
| Anexo C Aforo de aspersor en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.....  | 58 |
| Anexo D Factor adimensional de pérdida de cargas en accesorios.....  | 59 |
| Anexo E Ficha técnica aspersor Banariego 5022 utilizado en sistema de riego de la hacienda, Elpaban, Cañar, Ecuador..... | 60 |
| Anexo F Ficha técnica de las tuberías utilizadas en sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.....         | 61 |
| Anexo G Pérdidas de carga en tuberías secundarias de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.....                            | 62 |
| Anexo H Velocidades y diámetros de la propuesta de tuberías principales en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.....      | 63 |

## Resumen

El banano (*Musa Paradisiaca*) es considerado un cultivo de alto requerimiento hídrico y normalmente no es abastecida su demanda hídrica a través de la lluvia, requiriendo la integración de un sistema de riego, siendo el más frecuente por aspersión. Los objetivos fueron evaluar el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por aspersión en la hacienda Elpaban, Ecuador, desarrollar el mapeo agronómico e hidráulico del sistema de riego actual y desarrollar propuestas agronómicas e hidráulicas de mejoras al sistema de riego. El estudio se realizó entre los meses de octubre y diciembre, en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador. Se utilizó una herramienta de evaluación para la recolección de información de la hacienda, mediante visitas al campo se obtuvieron coordenadas para la elaboración de mapas de riego, suelo, sectores y topografía. Con los mapas, información del cultivo y especificaciones técnicas del sistema de riego se procedió al cálculo de los parámetros agronómicos e hidráulicos. Se encontró un diseño agronómico deficiente, con caudales instantáneos variables debido a las diferentes áreas de cada sector de riego. En el diseño hidráulico se encontraron pérdidas de carga y velocidades superiores a las recomendadas en tuberías secundarias y principales respectivamente, afectando la eficiencia del sistema. Se elaboró una propuesta de diseño agronómico e hidráulico, en el cual se mejora la uniformidad en los caudales instantáneos, donde se reduce y uniformiza la carga dinámica total del sistema en todos los sectores de riego, alcanzando altas eficiencias en el uso de los sistemas de bombeo.

*Palabras clave:* diseño agronómico, diseño hidráulico, eficiencia, pérdidas de carga, velocidad de flujo.

### **Abstract**

Banana (*Musa Paradisiaca*) is considered a crop with high water requirements and normally its water demand is not supplied by rainfall, requiring the integration of an irrigation system, the most frequent being sprinkler irrigation. The objectives were to evaluate the agronomic and hydraulic design of the sprinkler irrigation system in the Elpaban farm, Ecuador, to develop the agronomic and hydraulic mapping of the current irrigation system and to develop agronomic and hydraulic proposals for improvements to the irrigation system. The study was conducted between October and December, at the Elpaban farm, Cañar, Ecuador. An evaluation tool was used to collect information from the farm. Through field visits, coordinates were obtained for the elaboration of irrigation, soil, sector, and topography maps. With the maps, crop information and technical specifications of the irrigation system, the agronomic and hydraulic parameters were calculated. A deficient agronomic design was found, with variable instantaneous flow rates due to the different areas of each irrigation sector. In the hydraulic design, head losses and velocities higher than those recommended were found in the secondary and main pipes, respectively, affecting the efficiency of the system. An agronomic and hydraulic design proposal was elaborated, in which the uniformity in instantaneous flow rates is improved, where the total dynamic load of the system is reduced and uniform in all irrigation sectors, reaching high efficiencies in the use of the pumping systems.

*Keywords:* agronomic design, hydraulic design, efficiency, head losses, flow rate.

## Introducción

El banano es considerado uno de los cultivos más importantes en las zonas tropicales, tanto para consumo local como para exportación. El manejo de este cultivo en mayores proporciones requiere de un significativo número de mano de obra, por lo cual se genera una gran cantidad de empleo en el trópico. Ecuador es llamado el mayor exportador de banano del mundo, que con los años su presencia en el comercio mundial ha ido aumentando, llegando a crecer de 5.9 millones de toneladas en el año 2017 a 6.7 millones de toneladas en el año 2019 (FAO 2020).

Para lograr una adecuada producción de banano en el trópico, generalmente el requerimiento hídrico total del banano no puede ser abastecido a través de las lluvias, por lo cual se ve la necesidad de implementar un sistema de riego. Debido a que este es un cultivo de larga duración, las cantidades que demanda de agua son altas, de la misma manera dependiendo de factores externos, tales como la temperatura, precipitación, la variedad del cultivo, la fuente de donde viene el agua para el riego y la calidad de esta, afectarían el requerimiento hídrico el cual se encuentra entre 1200 mm en el trópico húmedo y 2200 mm en el trópico seco y requiriendo un sistema de riego para suplir esta demanda (FAO 2017).

Existen diferentes sistemas de riego, por superficie y presurizados. En este último se considera el riego por goteo, microaspersión y aspersión. El riego por goteo consiste en una aplicación de agua en forma de gotas en un punto muy cercano a la base de la planta donde solo se moje un 30% del suelo (Demin 2014). El riego por microaspersión consiste en lanzar a presión cortinas en forma de gotas de agua, con un parecido al riego por aspersión, con la diferencia que tiene menor alcance (Muñoz 2016). El riego por aspersión simula una lluvia uniforme con el objetivo de infiltrarse en el mismo punto donde caen las gotas (Lopez 2016). Estos métodos tienen una eficiencia de aplicación de 85 al 95%, 80 al 90%, 75 al 85% respectivamente.

Conociendo que existen diferentes sistemas de riego, unos más localizados que otros, y considerando que el banano es un cultivo perenne, debido a su reproducción asexual, además de las prácticas culturales que se realizan, como las diversas actividades de laboreo mecánico de suelo, el

método más utilizado en banano es el sistema de riego por aspersión (Herrera 2020). Considerando esto, para poder realizar un diseño, el primer paso es escoger el sistema de riego a utilizar.

El diseño de un sistema de riego se divide en dos partes, el diseño agronómico y el diseño hidráulico. El diseño agronómico tiene como criterios conocer la demanda hídrica del cultivo, número de sectores de riego y el caudal necesario para cumplir esa demanda (Tapia y Osorio 1999). Para esto se requiere conocer las densidades de plantas, emisores, horas de riego, la distancia entre emisores, caudal del emisor, presión de operación del emisor, evapotranspiración de cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), caudal unitario, caudal instantáneo. Con todos estos datos podemos obtener el diseño agronómico y saber si se tiene la capacidad de suministrar con eficiencia óptima el agua al cultivo (De los angeles 2007). En esa misma línea se encuentra el diseño hidráulico, el cual nos ayuda definiendo ubicación, diámetros y longitudes de las tuberías necesarias para el sistema de riego con la idea de optimizarlo (Jimenez 2017). Durante el diseño hidráulico se debe considerar que dentro del sistema de tuberías existen pérdidas de carga por el roce de las partículas del fluido con las paredes de la tubería y por el choque entre moléculas, otro factor a considerar es la velocidad de flujo la cual va en aumento cuando existe una reducción en el diámetro de las tuberías, comenzando con una velocidad igual a cero a la entrada del tubo y un incremento gradual conforme existen estas reducciones (Toapanta Ramos et al. 2018).

El diseño agronómico e hidráulico se realiza antes de instalar el sistema de riego, sin embargo, es posible realizar evaluaciones agronómicas e hidráulicas a un sistema que ya está instalado, con la finalidad de identificar aspectos de mejora en el sistema de riego.

Las evaluaciones del desempeño ejercido por un sistema de riego son muy importantes para tener el control económico relacionado al uso de combustible, energía y la mano de obra durante los turnos de riego realizados en las fincas, además de la optimización del recurso agua, el cual es un recurso renovable pero no inagotable. La agricultura es la principal demandante del agua, ya que utiliza casi el 70 % de agua total extraída de la tierra (FAO 2002). Es importante que se implemente estas herramientas de evaluación para que productores realicen sus ajustes correspondientes al

diseño del sistema de riego que presenten. “Es un hecho que en la actualidad la intervención de los ingenieros y los especialistas en diseños de riego se muestran en menos proporción que el que se adjudica a algunas casas comerciales” (Caicedo et al. 2015). Considerando la demanda hídrica del banano, su importancia económica y disponibilidad del agua que con los años se va limitando, es importante optar con un sistema de riego eficiente, para que de esta manera se puedan mejorar rendimientos, optimizar el uso del agua y disminuir costos por consumo de energía o combustible.

Los objetivos del estudio fueron evaluar el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por aspersión en la hacienda Elpaban, Ecuador, realizar el mapeo agronómico e hidráulico del sistema de riego actual y desarrollar propuestas agronómicas e hidráulicas de mejoras al sistema de riego.

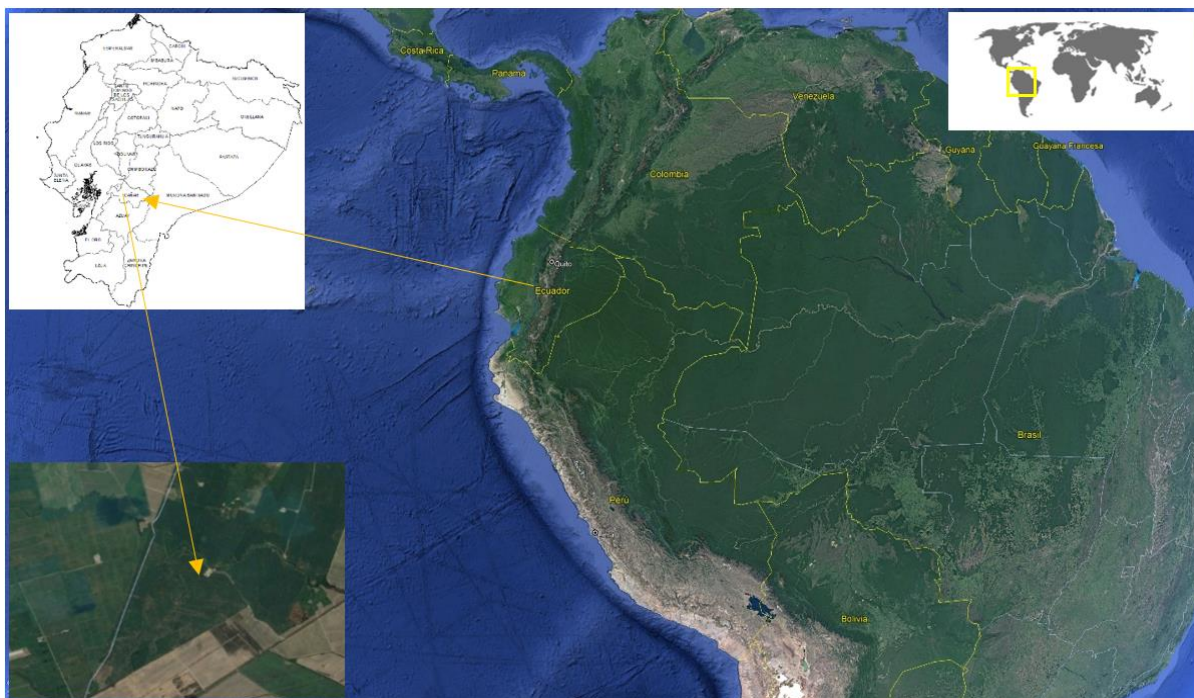
## Materiales y Métodos

### Descripción del Lugar

El estudio se realizó en la hacienda Elpaban, la cual cuenta con una superficie de 120 hectáreas, ubicada en la provincia del Cañar, Ecuador, ubicada en el km 15, carretera Puerto Inca a la Troncal (Figura 1). La recolección de datos se realizó en los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2021. La propiedad se encuentra dividida en cuatro áreas, dentro de cada área hay una división por sectores: Área “las palmas” 4 sectores, área “1” 6 sectores, área “2” 4 sectores, área “3” 6 sectores.

### Figura 1

*Ubicación de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*



### **Fuente de Agua**

La fuente de agua para el riego es proveniente del río Ruidoso, según un análisis de agua realizado este año cuenta con parámetros de calidad óptimos (Cuadro 1).

**Cuadro 1**

*Análisis de parámetros de calidad de agua de la fuente de riego proveniente del río Ruidoso, Cañar, Ecuador.*

| Parámetros      | Unidades | Resultados | Límites máximos permisibles | Validación |
|-----------------|----------|------------|-----------------------------|------------|
| pH              | pH       | 7.5        | 6 - 9                       | Cumple     |
| CE              | μs/cm    | 0.08       | -                           | -          |
| Sólidos totales | Mg/l     | 40.0       | 130                         | Cumple     |
| Temperatura     | °C       | 26.1       | Condición natural ± 3<br>°C | Cumple     |

*Nota.* CE: conductividad eléctrica, °C: grados centígrados, μs: micro siemens, cm: centímetros, Mg: miligramos, l: litros.

**Datos Climatológicos de la Zona**

Se solicitó información de la estación meteorológica Ambient Weather WS-2902 ubicada en la hacienda “Cañas banana” para poder obtener principalmente datos de precipitación y evapotranspiración del cultivo de referencia para los cálculos del diseño agronómico (Cuadro 2).

**Cuadro 2**

*Datos de temperatura, humedad relativa, ETo y precipitación del año 2020 Hacienda Cañas Banana, Puerto Inca, Ecuador*

| Mes        | Temperatura (°C) |        |       | Humedad relativa (%) | ETo (mm) | Precipitación (mm) |
|------------|------------------|--------|-------|----------------------|----------|--------------------|
|            | Mínima           | Máxima | Media |                      |          |                    |
| Enero      | 23               | 32     | 27    | 75                   | 105      | 254                |
| Febrero    | 24               | 33     | 27    | 80                   | 82       | 199                |
| Marzo      | 21               | 34     | 27    | 80                   | 113      | 294                |
| Abril      | 24               | 34     | 28    | 79                   | 105      | 161                |
| Mayo       | 22               | 32     | 27    | 80                   | 90       | 24                 |
| Junio      | 21               | 31     | 25    | 81                   | 55       | 6                  |
| Julio      | 21               | 31     | 25    | 78                   | 62       | 3                  |
| Agosto     | 20               | 32     | 25    | 76                   | 92       | 10                 |
| Septiembre | 21               | 32     | 25    | 76                   | 74       | 11                 |
| Octubre    | 21               | 34     | 26    | 72                   | 88       | 14                 |
| Noviembre  | 20               | 32     | 26    | 72                   | 69       | 11                 |
| Diciembre  | 22               | 33     | 26    | 76                   | 71       | 9                  |
| Total      | -                | -      | -     | -                    | 1006     | 996                |
| Promedio   | 22               | 33     | 26    | 77                   | 84       | 83                 |

*Nota.* °C: grados centígrados, mm: milímetros.



## **Descripción del Estudio**

### ***Recolección de Información General***

Para comenzar con la evaluación se solicitó información al personal encargado de la hacienda sobre recursos humanos, labores de mantención, antecedentes y la descripción de la operación agronómica e hidráulica del sistema de riego, mediante la herramienta de evaluación de sistemas de riego (*Anexo A*).

### ***Toma de Coordenadas Perimetales***

Para la elaboración del mapa actualizado de la propiedad se tomaron coordenadas caminando por el perímetro de la hacienda con el celular Apple, iPhone 11, con la aplicación descargada del App Store, Tomstrails GPS UTM y se tomaron puntos para poder graficarlos posteriormente en la aplicación QGIS Desktop 3.20.3.

## **Determinación y Evaluación del Diseño Agronómico del Sistema de Riego**

### ***Elaboración de Mapas***

Al no existir en la hacienda mapas, mediante la aplicación QGIS Desktop 3.20.3 se elaboraron los mapas temáticos (topográfico, sectores, suelo y riego) con el objetivo de obtener variables para realizar cálculos del diseño hidráulico y poder representar el diseño agronómico que existe en la propiedad.

#### **Mapa Perimetral.**

Luego de recorrer el perímetro de la hacienda, se colocaron las coordenadas en un cuadro en Excel, posteriormente se convirtió el archivo XLS a un archivo CSV, para poder incorporar los datos a QGIS. Luego se agregó la capa como texto delimitado, obteniendo los puntos. Se agregó una imagen satelital para poder unir los puntos con una capa de archivo shape, con un tipo de geometría de polígono.

#### **Mapa de Texturas de Suelo.**

Para la elaboración del mapa de textura de suelo se requirió realizar una visita al campo para realizar un muestreo de suelo. Se tomó una muestra aleatoria en cada sector de riego la cual fue

analizada mediante un método organoléptico, del cual se obtuvo la textura de cada muestra tomada (Luters y Salazar 1999). Luego se colocaron las coordenadas de las muestras con el resultado de estas en un cuadro de Excel Microsoft 365, posteriormente se convirtió el archivo XLS a un archivo CSV, para poder incorporar los datos a QGIS. Luego se agregó la capa como texto delimitado y se obtuvieron los puntos de las muestras en el mapa perimetral, con estos puntos se realizó un proceso de interpolación IDW el cual se basa en la distancia que se tiene entre un punto conocido y otro (Duarte y Montaña 2020).

#### **Mapa de Sectores de Riego.**

Para la elaboración del mapa de sectores de riego se tomaron coordenadas del perímetro de cada sector, luego se colocaron las coordenadas en un cuadro de Excel Microsoft 365, posteriormente se convirtió el archivo XLS a un archivo CSV, para poder incorporar los datos a QGIS. Luego se agregó la capa como texto delimitado y se unieron los puntos con una nueva capa de archivo shape, con tipo de geometría cadena de líneas.

#### **Mapa Topográfico.**

Para la elaboración de este mapa se utilizó la aplicación Google Earth Pro para obtener puntos de diferentes altitudes dentro de la hacienda en un archivo kml, a partir de ese archivo se creó un nuevo archivo GPX desde una página web (GPS Visualizer) de donde se obtuvieron diferentes parámetros, posteriormente, se agregó la capa GPX a QGIS para poder utilizar la herramienta de interpolación IDW y se tomó el parámetro de elevaciones. Con esta última capa se utilizó la herramienta ráster extracción de curvas a nivel para obtener el mapa.

#### **Mapa de Riego.**

Se elaboró un mapa de tuberías mediante coordenadas del inicio y fin de las tuberías principales y secundarias, tomando en cuenta la presencia de accesorios de tubería (codo, tee, reductos, tapón) a lo largo de la propiedad, luego se los incorporó a la aplicación QGIS y se los unió mediante una capa de archivo shape con el tipo de geometría cadena de líneas. Luego se les dio la nomenclatura asignada y se agregó el campo "longitud" para saber la longitud de cada tubería.

### **Parámetros Agronómicos del Sistema de Riego**

Se tomaron datos dentro de la propiedad para obtener ciertos parámetros del diseño agronómico ya establecido en la propiedad. Se consultó el número de sectores existentes y del tiempo de riego que se realiza, además de los parámetros que se describen a continuación. Todo esto a través del uso de la herramienta de levantamiento de información (Anexo A).

#### **Densidad de Emisores.**

Se tomó distancias entre aspersores y laterales en campo, en las diferentes áreas de la hacienda, para determinar la densidad de emisores en cada sector de riego (Anexo B). Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 1.

$$Ne = \left( \frac{10,000}{Dh \times Dsh} \right) \quad [1]$$

Donde:

Ne= Número de emisores por hectárea

Dh= Distancia entre hileras (m)

Dsh= Distancia entre emisores sobre hilera (m)

#### **Caudal del Emisor.**

Se realizó el aforo de emisores mediante la utilización de dos codos de 25 mm y dos fundas conectadas a las boquillas, luego se midió el volumen usando una probeta de 1000 ml, el cual se dividió por el tiempo de 10 segundos que se estuvo llenando la funda con agua, de esta manera se obtuvo el caudal. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 2 (Anexo C).

$$Q = \frac{V}{T} \quad [2]$$

Donde:

Q = Caudal, en litros por hora.

V = Volumen, en litros.

T = Tiempo, en horas.

### **Caudal Unitario.**

Con el número de emisores y el caudal de estos se procedió a realizar la fórmula para obtener el caudal en una hectárea. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 3.

$$Q_u = N_e \times Q_e \quad [3]$$

Donde:

Qu= Caudal unitario, en m<sup>3</sup>/h/ha.

Ne= Número de emisores por hectárea.

Qe= Caudal del emisor, en m<sup>3</sup>/h.

### **Caudal Instantáneo.**

Con el caudal unitario y la superficie total de riego se determinó el caudal emitido en los sectores de riego, este valor serviría próximamente para encontrar el punto de trabajo de la bomba. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 4.

$$Q_i = Q_u \times S_s \quad [4]$$

Donde:

Qi= Caudal instantáneo, en m<sup>3</sup>/h.

Qu= Caudal unitario, en m<sup>3</sup>/h/ha.

Ss= Superficie del sector de riego, en ha.

### **Precipitación Instantánea del Sistema.**

Esta variable nos indica la precipitación que está brindando el sistema en mm/h. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 5.

$$Ph = \left( \frac{N_E \times Q_e}{10,000} \right) \quad [5]$$

Donde:

Ph= Precipitación instantánea del sistema, mm/h.

Ne= Número de emisores por hectárea.

Qe= Caudal del emisor, L/h.

### **Tiempo de Riego.**

Se calculó el tiempo que se va a necesitar regar para cumplir con las necesidades hídricas del cultivo, siendo este valor considerado únicamente de diseño. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 6.

$$TR = \left( \frac{ET_C \max}{Ph \times Ef} \right) \quad [6]$$

Donde:

TR= Tiempo de riego, h

ETc max= Evapotranspiración máxima del cultivo, mm/d

Ef= Eficiencia del sistema

### **Numero de Sectores de Riego.**

Para poder determinar los sectores de riego que deberían estar presentes en la hacienda se necesitó, el tiempo necesario de riego diario y el tiempo disponible para regar. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 7.

$$NS = \left( \frac{NHTD}{TR} \right) \quad [7]$$

Donde:

NS= Número de sectores

NHTD= Número de horas tiempo de riego diario (máximo 24h/d), en h

TR= Tiempo de riego, en h

#### **Número de Hectáreas por Sector de Riego.**

Para determinar el área de cada sector se dividió el número de hectáreas en cada área de la hacienda por el número de sectores, esto sirvió para proponer una nueva distribución de sectores de riego. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 8.

$$NHSR = \left( \frac{ha}{NS} \right) \quad [8]$$

Donde:

NHSR= Número de hectáreas del sector de riego

### **Determinación y Evaluación del Diseño Hidráulico del Sistema de Riego**

#### ***Mapa de Tuberías***

Para una mayor comprensión de la ubicación de las tuberías se realizó un mapa donde se les otorga una identificación, comenzando con el número 1 en tuberías secundarias y 101 en tuberías principales y continuando la numeración en cada caso de forma ascendente.

#### ***Parámetros Hidráulicos del Sistema de Riego***

Para el estudio hidráulico se tomó en cuenta la longitud de las tuberías y los diferentes diámetros presentes en el sistema de riego de la propiedad, de esta manera se obtuvo las pérdidas primarias y secundarias, las primarias se obtienen en los tramos de tuberías principales, secundarias

y laterales, mientras, las pérdidas secundarias se obtienen en puntos específicos (accesorios) como codos, tee, yee y válvulas (Heras 2011).

#### **Pérdida de Cargas en Tuberías Principales.**

Estas pérdidas ocurren cuando el agua entra en contacto con la superficie de la tubería, generando una fricción, reduciendo la energía que se encuentra en forma de presión dentro de estas.

Para el cálculo se usó el coeficiente de resistencia y coeficiente de rugosidad de la ecuación de Hazen-Williams (Guaycochea 1992). Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 9.

$$hf = K \times \frac{Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times Di^{4.871}} \quad [9]$$

Donde:

hf= Pérdida de carga por fricción

K= Coeficiente de resistencia

Q= Caudal

L= Longitud

C= Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

Di= Diámetro interno

#### **Pérdida de Cargas en Tuberías Secundarias y Laterales.**

Durante el continuo avance del agua por la red de tuberías, llega a las tuberías secundarias, en donde la disminución o el aumento del diámetro va a afectar las pérdidas de cargas, además de las salidas múltiples del sistema. Es el mismo caso con las tuberías laterales por lo que se utiliza la misma ecuación. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 10, la cual es similar la ecuación 9, agregando el factor de corrección por salidas múltiples en la tubería. En tuberías secundarias las pérdidas de cargas permisibles son el 10% de la presión de operación del emisor en mca.

$$hf = K \times \frac{Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times Di^{4.871}} \times F \quad [10]$$

Donde:

$h_f$ = Pérdida de carga por fricción

$K$ = Coeficiente de resistencia

$Q$ = Caudal

$L$ = Longitud

$C$ = Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

$D_i$ = Diámetro interno

$F$ = Salidas múltiples

El factor de salidas múltiples se requirió por el número de laterales conectadas a la tubería secundaria y lateral. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 11.

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{(m-1)^{0.5}}{6N^2} \quad [11]$$

Donde:

$N$  = Número de salidas

$m$  = Coeficiente de velocidad de H y W, 1.852

#### **Diámetro Requerido de Tuberías Secundarias.**

Para la propuesta del diseño hidráulico se requirió conocer el diámetro recomendado de la tubería para que las pérdidas de cargas en tuberías secundarias no excedan el 10% de la presión de operación del emisor. Para esto se despejó la fórmula de pérdidas de carga en tuberías secundaria en función del diámetro y posteriormente se realizó el cálculo utilizando la ecuación 12.

$$D_{i_{req}} = \left( K \times \frac{Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times h_f} \times F \right)^{\frac{1}{4.871}} \quad [12]$$

Donde:

$D_{i_{req}}$ = Diámetro interno requerido

$K$ = Coeficiente de resistencia

$Q$ = Caudal



L= Longitud

C= Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

hf= Pérdida de carga por fricción

F= Salidas múltiples

#### **Pérdida de Cargas en Accesorios.**

El movimiento del agua por cada parte del sistema es afectado y en los accesorios también se pierden cargas, para este cálculo se usó un factor adimensional (Anexo D). Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 13.

$$h_i = K_i \times \frac{v^2}{2g} \quad [13]$$

Donde:

$h_i$  = pérdidas de carga en accesorios, en mca

$K_i$  = factor adimensional (por tablas)

V = velocidad de flujo agua, en m/s

g = aceleración de la gravedad

#### **Velocidad en las Tuberías.**

Para obtener la ecuación de velocidad se utilizó la ecuación de caudal en conductos cerrados, despejando la variable velocidad. Se realizó el cálculo utilizando la ecuación 14.

$$V = \frac{Q}{A} \quad [14]$$

Donde:

V = Velocidad de flujo promedio (m/s)

A = Área de la sección conductora (m<sup>2</sup>)

**Carga Dinámica Total.**

La carga dinámica total corresponde a la sumatoria de todas las pérdidas de carga dentro del sistema de riego, que tiene como fin identificar el punto más crítico y demostrar el requerimiento de energía necesario para abastecer ese punto. Para este cálculo se consideró:

Presión de operación del emisor

Tubería lateral

Tubería secundaria

Tubería principal

Desnivel topográfico

Válvulas

Filtros

Singularidades/Accesorios

## Resultados y Discusión

### Estudio Agronómico

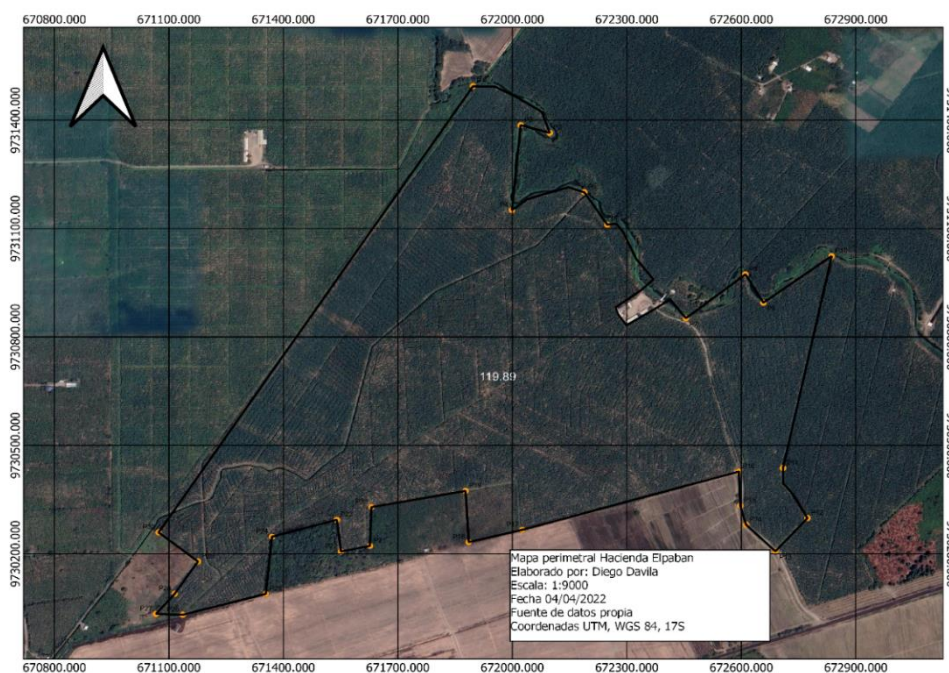
Se elaboraron los mapas del perímetro, suelo, sectores y topografía de la hacienda Elpaban en la aplicación QGIS Desktop versión 3.20.3 que es un software libre y código abierto. Se obtuvieron como resultados los mapas de perímetro, texturas de suelo, sectores de riego, topografía y el integrado de estos.

### Mapa Perimetral

Se encontró que la hacienda tiene un área total en producción bajo riego de 119.89 ha, además se observa una forma de un polígono irregular (Figura 2).

**Figura 2**

*Mapa perimetral de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*



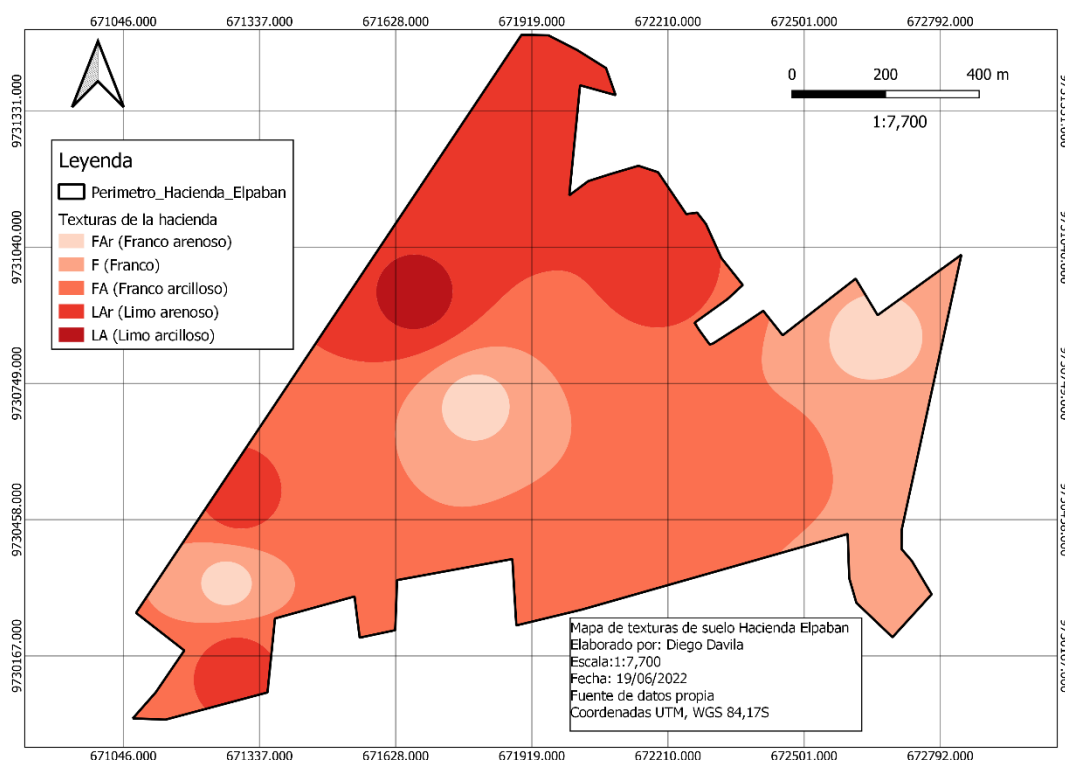
### Mapa de Texturas de Suelo

Se encontraron cinco texturas diferentes (franco arenoso, franco arcilloso, franco, limo arenoso, limo arcilloso) distribuidas a lo largo de la propiedad (

Figura 3). Siendo la más predominante la textura franco-arcillosa ocupando el 48% del terreno. Con este parámetro se definió la tasa de infiltración presente en la propiedad que según la FAO (1988) a medida que el agua reemplaza el aire presente en los poros, el agua superficial del suelo se infiltra más lento, hasta alcanzar un ritmo constante teniendo como resultado una tasa de infiltración básica (Cuadro 3).

**Figura 3**

*Mapa de texturas de suelo de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*



**Cuadro 3**

*Tasa de infiltración básica para los tipos de suelo encontrados en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Tipo de suelo    | Tasa de infiltración básica (mm/hora) |
|------------------|---------------------------------------|
| Franco-Arcilloso | 6 - 8                                 |
| Franco           | 7 - 10                                |
| Franco-Arenoso   | 8 - 12                                |
| Limo Arcilloso   | 5 - 10                                |

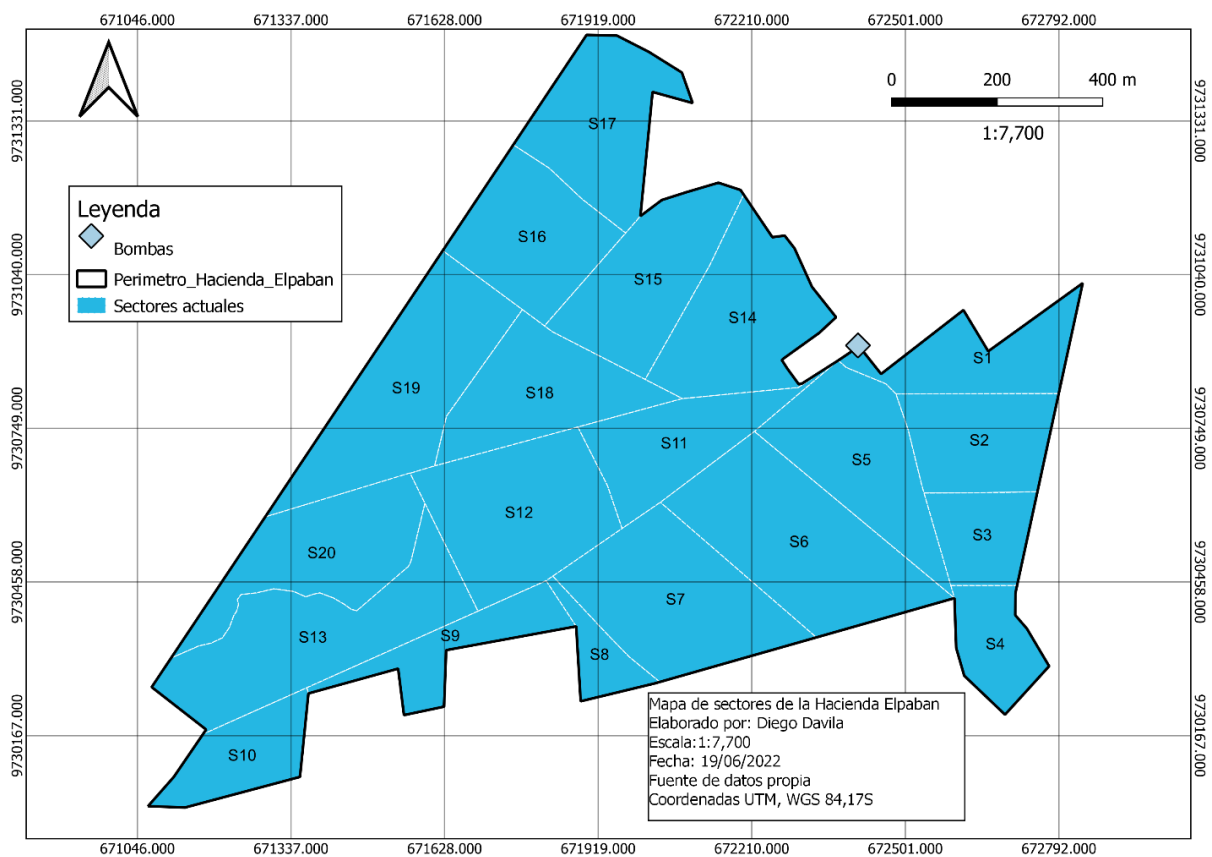
### Mapa de Sectores de Riego

Se encontró que se tiene una totalidad de 20 sectores de riego (

Figura 4). Estos se encuentran distribuidos lo largo de la propiedad con una des uniformidad en el número de hectáreas por sector con formas geométrica muy irregulares (Cuadro 4).

### Figura 4

Mapa de sectores de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.



**Cuadro 4**

*Distribución de los sectores de riego y superficie en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Sectores de riego | Área (ha) |
|-------------------|-----------|
| 1                 | 4.42      |
| 2                 | 4.86      |
| 3                 | 3.00      |
| 4                 | 2.87      |
| Las palmas        | 15.15     |
| 5                 | 6.86      |
| 6                 | 9.81      |
| 7                 | 8.61      |
| 8                 | 1.57      |
| 9                 | 3.32      |
| 10                | 3.50      |
| Área 1            | 33.67     |
| 11                | 5.07      |
| 12                | 8.31      |
| 13                | 9.22      |
| 14                | 7.30      |
| 15                | 6.53      |
| 18                | 6.18      |
| Área 2            | 42.61     |
| 16                | 6.10      |
| 17                | 6.49      |
| 19                | 9.17      |
| 20                | 6.70      |
| Área 3            | 28.46     |
| Total             | 119.89    |

*Nota.* ha: hectárea.

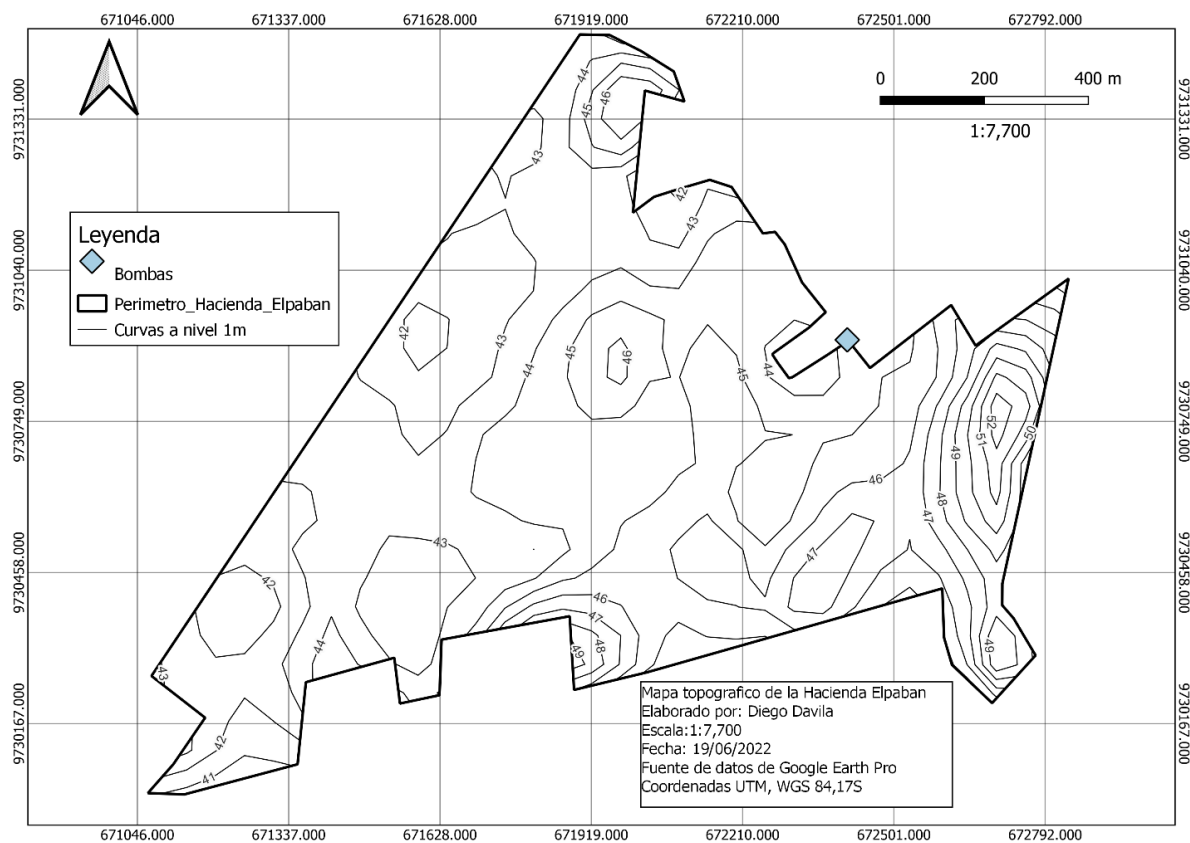
**Mapa Topográfico**

Se encontró en el mapa topográfico una diferencia de altura máxima en contra de la pendiente de 8 metros a 301.66 metros de distancia desde el punto donde se encuentra la bomba hasta el área Las palmas, representando una pendiente de 2.65 %, valor que indica que en ese sector se tendrán pérdidas de carga de 8 mca y en el punto más lejano ubicado en área 1 una diferencia de altura a favor de la pendiente de 3 metros con 409.6 metros de distancia, representando una pendiente de -0.21%,

valor que indica que ese sector se tendrá una ganancia de 3 mca (Figura 5). Lo que define el terreno de la hacienda como plano o casi plano (Orihuela Contreras 2015).

**Figura 5**

*Mapa topográfico de la Hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

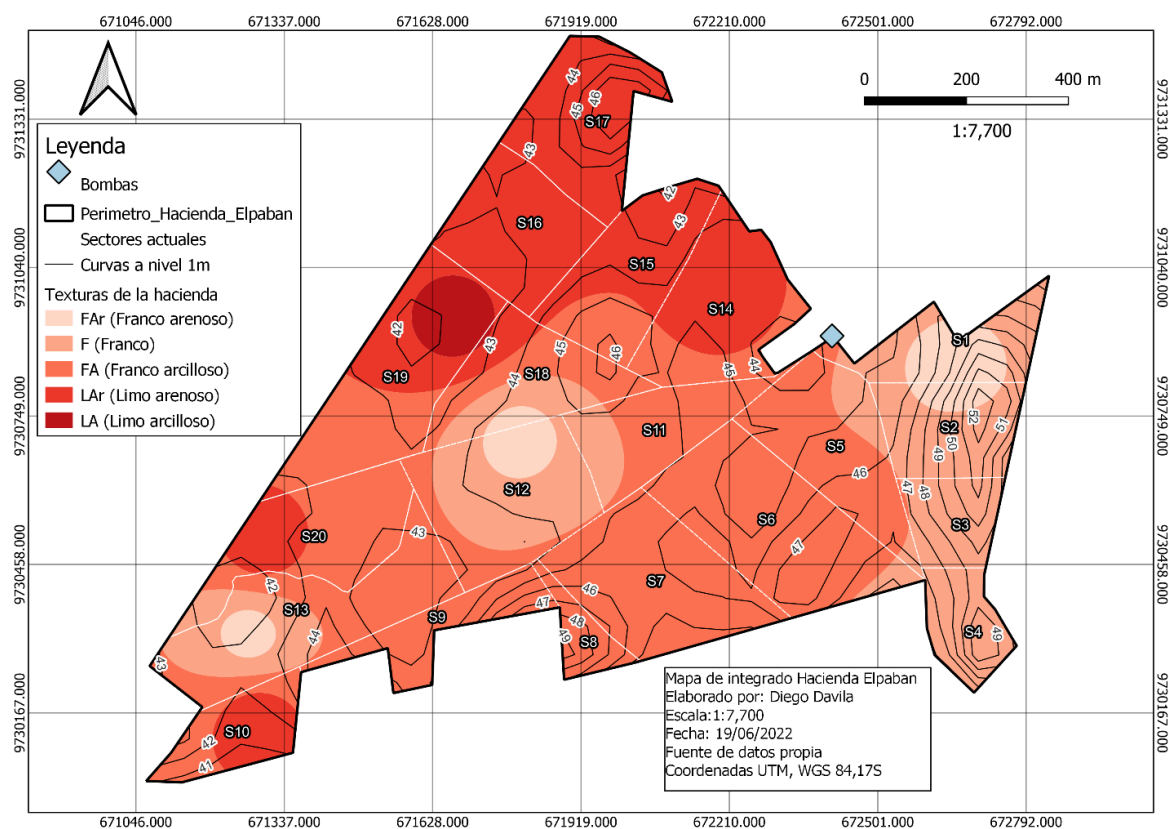


### **Mapa Integrado de la Hacienda Elpaban**

A partir de los mapas anteriores se construyó un solo mapa que sirve para la evaluación del diseño agronómico del sistema de riego en la hacienda, ya que en él encontramos el número de sectores y la manera en que se encuentran distribuidos de acuerdo con la topografía y la variabilidad de texturas del suelo (Figura 6).

Figura 6

Mapa integrado de suelos, topografía y sectores de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.



### Variables Climáticas Consideradas en el Diseño

En el

Cuadro 5 se observan variables a considerar de la zona de estudio, de donde se obtuvo la Evapotranspiración máxima del cultivo bajo condiciones estándar (ETc máxima), a partir del producto del coeficiente de cultivo (Kc) más alto del ciclo del banano multiplicado por la máxima evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo máxima).

### Cuadro 5

Variables para considerar en el diseño del sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.

| Descripción  | Valores | Unidades |
|--------------|---------|----------|
| ETo promedio | 2.71    | mm       |
| ETo máxima   | 5.61    | mm/día   |
| Kc máximo    | 1.2     | -        |
| ETc máxima   | 6.732   | mm/día   |



### **Evaluación Agronómica**

Durante la evaluación se encontraron diferentes densidades de emisores por sector debido al distanciamiento diferente entre aspersores y laterales de riego en cada área, además, a este factor se le atribuye la variabilidad del tamaño de cada sector de riego. Se observó que a mayor distanciamiento se obtiene una menor precipitación instantánea del sistema, por lo que, esta relación el regador la considera como un factor para agregar más horas de riego en los sectores donde existe un mayor distanciamiento (Cuadro 6). Se observó que el caudal instantáneo se encontraba muy desuniforme, teniendo como resultados en el área “las palmas” la precipitación más alta 5.32 mm/h, mientras que en “Área 3” la más baja siendo 2.03 mm/h lo que genera un funcionamiento ineficiente de la bomba, poniéndola en riesgo de deterioro ya que trabaja con caudales instantáneos demasiado desuniformes entre los sectores de riego (Hooton 2020). Esto repercute en gastos de mantenimiento y en consumo ineficiente de combustible, generando pérdidas para el propietario, factor que está directamente relacionado con el distanciamiento y el tamaño de cada sector.

Por otra parte, de acuerdo con el tiempo de riego aplicado de 2 horas en los sectores de mayor precipitación instantánea y 2.5 horas en los de menor precipitación instantánea; se encontró que existen sectores según diseño, en el día de mayor demanda están siendo subregados debido a que se dispone de 12 horas de riego al día, afectando al cultivo con estrés hídrico. Este es uno de los parámetros más delicados e importantes a la hora de suplir los requerimientos hídricos, ya que de ahí parten las consecuencias en la planta, que en la peor circunstancia puede llegar al punto de marchitez visible, suspendiendo la emisión foliar (Guzman Gutierrez 2010).

**Cuadro 6**

*Evaluación agronómica del sistema de riego actual de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

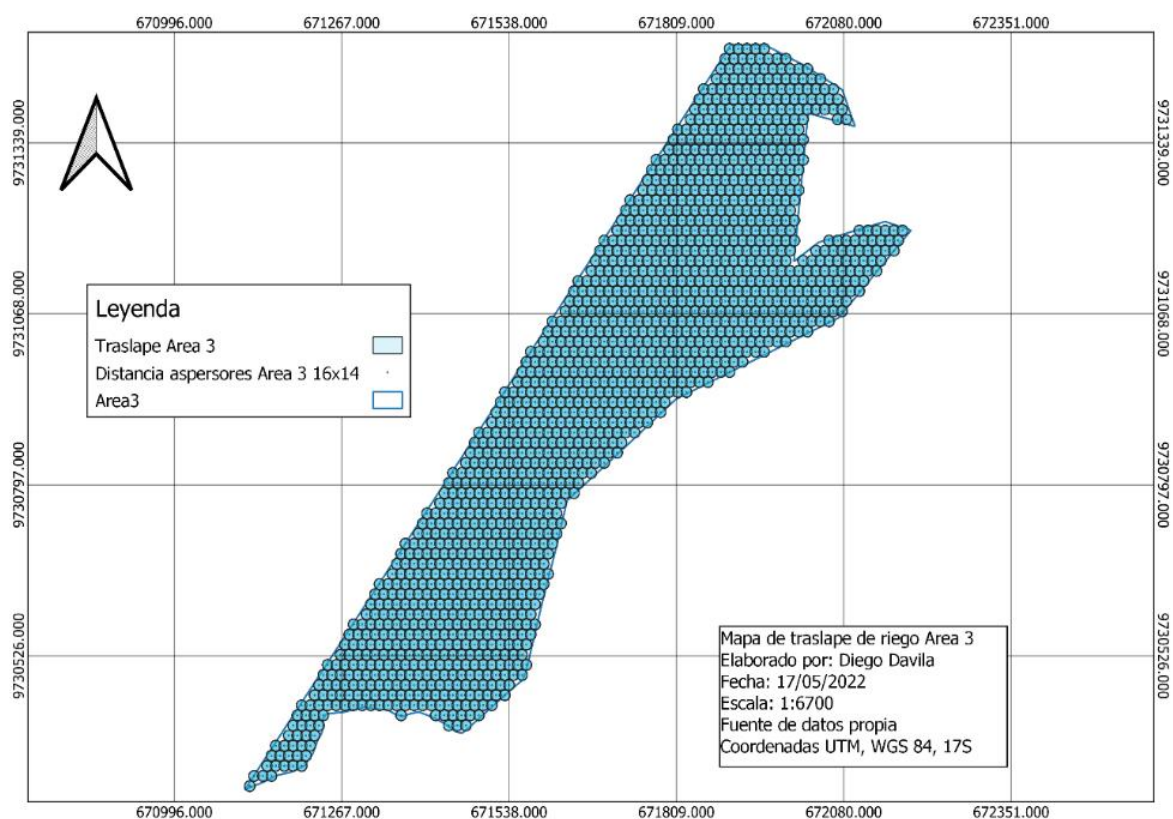
| Sectores de riego actuales | Área (ha) | Densidad de emisores (Ne/ha) | Marco de emisores (m <sup>2</sup> ) | Tiempo de riego (h) | Caudal Instantáneo (m <sup>3</sup> /h) | Precipitación instantánea (mm/h) |
|----------------------------|-----------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------|--|----------------------------------|
| 1                          | 4.42      | 336                          | 12x11                               | 2                   | 201.55                                 | 4.56                             |
| 2                          | 4.86      | 370                          | 12x11                               | 2                   | 217.18                                 | 4.47                             |
| 3                          | 3.00      | 228                          | 12x11                               | 2                   | 159.60                                 | 5.32                             |
| 4                          | 2.87      | 219                          | 12x11                               | 2                   | 119.97                                 | 4.18                             |
| Las palmas                 | 15.15     | 1153.0                       | 132                                 | 8.0                 | 698.30                                 | 4.63                             |
| 5                          | 6.86      | 385                          | 15x12                               | 2.5                 | 267.76                                 | 3.08                             |
| 6                          | 9.81      | 550                          | 15x12                               | 2.5                 | 274.68                                 | 2.80                             |
| 7                          | 8.61      | 483                          | 15x12                               | 2.5                 | 243.97                                 | 2.83                             |
| 8                          | 1.57      | 88                           | 15x12                               | 2.5                 | 44.84                                  | 2.86                             |
| 9                          | 3.32      | 186                          | 15x12                               | 2.5                 | 120.85                                 | 3.64                             |
| 10                         | 3.50      | 196                          | 15x12                               | 2.5                 | 113.09                                 | 3.23                             |
| Área 1                     | 33.67     | 1888.0                       | 180                                 | 15.0                | 1065.19                                | 3.07                             |
| 11                         | 5.07      | 355                          | 12x12                               | 2                   | 216.49                                 | 4.27                             |
| 12                         | 8.31      | 582                          | 12x12                               | 2                   | 310.63                                 | 3.74                             |
| 13                         | 9.22      | 646                          | 12x12                               | 2                   | 319.47                                 | 3.47                             |
| 14                         | 7.30      | 511                          | 12x12                               | 2                   | 281.05                                 | 3.85                             |
| 15                         | 6.53      | 458                          | 12x12                               | 2                   | 155.74                                 | 3.71                             |
| 18                         | 6.18      | 433                          | 12x12                               | 2                   | 247.01                                 | 4.00                             |
| Área 2                     | 42.61     | 2985.0                       | 144                                 | 12.0                | 1530.39                                | 3.84                             |
| 16                         | 6.10      | 275                          | 14x16                               | 2.5                 | 154.27                                 | 2.53                             |
| 17                         | 6.49      | 293                          | 14x16                               | 2.5                 | 160.63                                 | 2.48                             |
| 19                         | 9.17      | 413                          | 14x16                               | 2.5                 | 185.69                                 | 2.03                             |
| 20                         | 6.70      | 302                          | 14x16                               | 2.5                 | 158.89                                 | 2.37                             |
| Área 3                     | 28.46     | 1283.0                       | 224                                 | 10.0                | 659.5                                  | 2.4                              |
| Total                      | 119.8     | 7309.0                       | -                                   | 45.0                | -                                      | -                                |
| Promedio                   | 5.99      | 365.45                       | -                                   | 2.25                | 197.67                                 | 3.5                              |

*Nota.* ha: hectárea, Ne: número de emisores, m<sup>2</sup>: metro cuadrado, h: hora, m<sup>3</sup>: metro cúbico, mm: milímetros.

Considerando el distanciamiento de los emisores se elaboraron diferentes mapas en donde se aprecia el traslape deficiente para cada distanciamiento, según Fernández Gómez et al. (2010), se recomienda utilizar el 60% del diámetro de alcance del aspersor para la disposición de tres bolillos, el cual es el marco que se utiliza en la propiedad, sin embargo, no se expresa de esta manera generando puntos en donde no se genera traslape como se puede observar en la Figura 7.

Figura 7

Mapa de traslape área 3 en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.



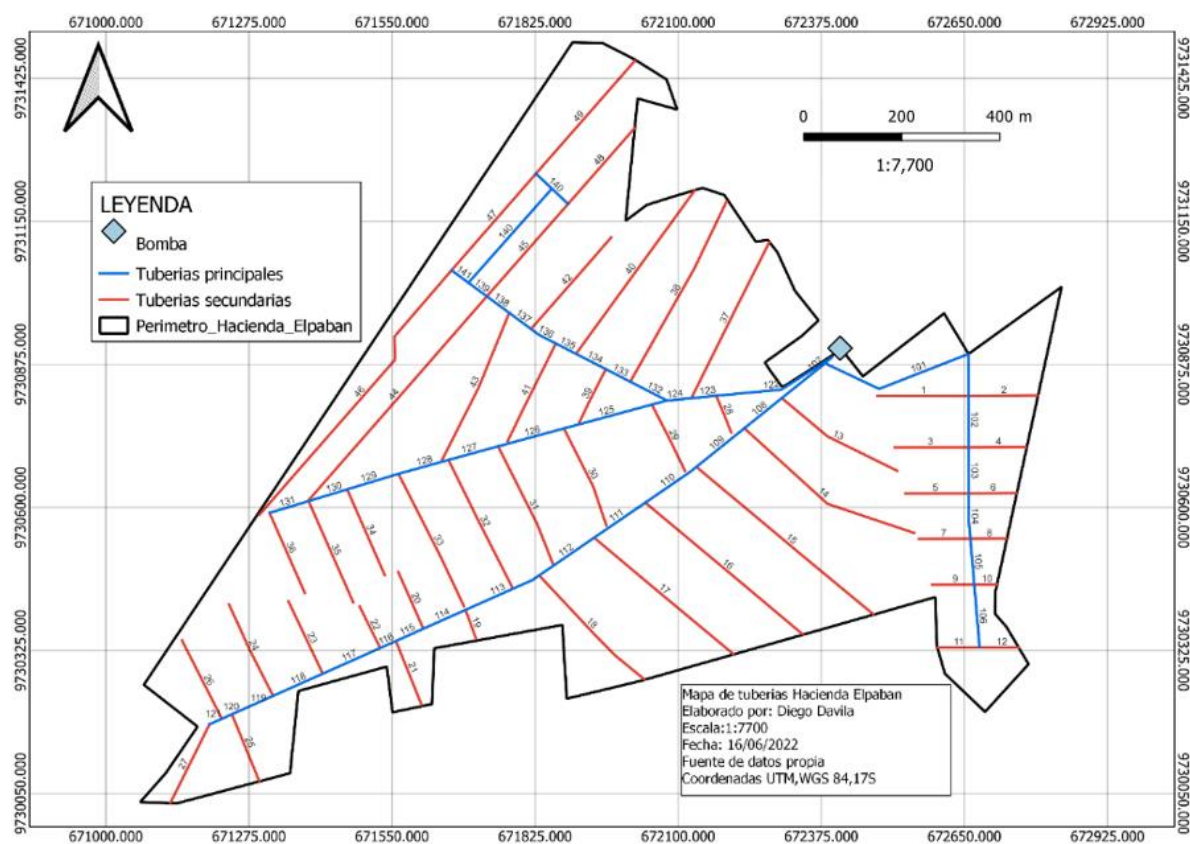
## Evaluación Hidráulica

### Mapa y Evaluación Hidráulica de Tuberías

Durante la elaboración del mapa se encontró la presencia de tuberías telescópicas (tuberías que están constituidas por tramos con diferente diámetro o tipo de material, las cuales se tomaron en cuenta para el cálculo de pérdidas de cargas en estos tramos. Se encontraron tramos de tuberías principales muy largos, debido a la distancia del sector de riego más lejano con respecto a la estación de bombeo, además se encontró la presencia de una tubería secundaria (#46) con una longitud de 608 metros, lo cual no es favorable para el sistema, debido que, a mayor longitud, mayores pérdidas de carga (Figura 8).

Figura 8

Mapa de tuberías principales y secundarias de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.



### Tubería Lateral.

Para el cálculo de las tuberías laterales se utilizó la ecuación 10 y se encontró que en estas solamente se encontraba un 5% de tuberías que no cumplían con la recomendación de que las pérdidas no superen el 10% de la presión de operación del emisor, ubicándose este 5% en el sector 9 de la hacienda Elpaban.

### Tuberías Secundarias.

La evaluación demostró que existen muchas pérdidas de carga en las tuberías secundarias, siendo los factores decisivos para este resultado, la longitud, el caudal y el diámetro interno (Cuadro 7). Este último se obtuvo de la ficha técnica de las tuberías (Anexo F).

La longitud y el caudal que fluye por la tubería son proporcionales a las pérdidas de carga, mientras mayor sean estos, mayor va a ser la pérdida de carga. Sin embargo, el diámetro interno es

inversamente proporcional, mientras menor sea su diámetro mayor son las pérdidas de carga, esto es debido a que cuando se reduce el diámetro, se reduce el área superficial por donde circula el agua, afectando su velocidad y generando mayor flujo turbulento dentro de las tuberías (Ganchozo Arevalo y Monserrate Chamba 2018). Las pérdidas de cargas en el 92% de las tuberías secundarias superaron la recomendación de que no debe exceder el 10% de la presión de operación del emisor (Del Cid 2000), el cual en este caso es de 2.9 psi.

### Cuadro 7

*Perdidas de carga en tuberías secundarias en los diferentes sectores de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Sector | Tubería secundaria | Diámetro nominal (mm) | Longitud (m) | Hf (psi) |
|--------|--------------------|-----------------------|--------------|----------|
| 1      | 1                  | 90                    | 175.07       | 21.57    |
| 2      | 5                  | 75                    | 121.63       | 10.45    |
| 3      | 7                  | 75                    | 98.47        | 8.2      |
| 4      | 11                 | 63                    | 80.35        | 26.82    |
| 5      | 14                 | 110-90                | 391.73       | 29.49    |
| 6      | 15                 | 110-90                | 442.84       | 55.25    |
| 7      | 17                 | 110-90-75             | 348.49       | 99.34    |
| 8      | 18                 | 110-90-75             | 285.21       | 4.42     |
| 9      | 21                 | 63                    | 131.38       | 50.75    |
| 10     | 27                 | 63                    | 168.38       | 74.33    |
| 11     | 30                 | 90-75                 | 204.17       | 30.41    |
| 12     | 33                 | 75-63                 | 283.56       | 87.86    |
| 13     | 24                 | 90-75                 | 194.88       | 58.02    |
| 14     | 38                 | 110-90                | 393.46       | 32.21    |
| 15     | 40                 | 90                    | 387.65       | 68.69    |
| 16     | 47                 | 75                    | 246.53       | 56.1     |
| 17     | 49                 | 90                    | 287.93       | 50.37    |
| 18     | 43                 | 75-63                 | 310.24       | 64.89    |
| 19     | 46                 | 110-90                | 608.47       | 38.09    |
| 20     | 34                 | 63                    | 179.76       | 59.81    |

*Nota.* Se colocó una tubería representativa por cada sector de riego, considerada como la crítica por tener las mayores pérdidas de carga.

El total de tuberías se encuentran en el (Anexo G). mm: milímetros, m: metro, psi: libra/pulgada<sup>2</sup>.

### **Tuberías Principales.**

En el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías principales se encontró que la velocidad en el 43% de los tramos de tubería excedía lo recomendado, según Franquet (2019) los valores adecuados

de velocidad en instalaciones modernas están comprendidos entre 0.5 y 2.5 m/s, esto con el fin de evitar golpe de ariete en el sistema y desgaste de las tuberías. Se encontró que en los tramos de tuberías con velocidades altas las pérdidas de cargas eran aún más elevadas como es el caso del tramo de tubería 113-114 del sector 13, el cual tiene una pérdida de carga de 49.76, factor que se encuentra relacionado con la longitud de la tubería y su diámetro (Cuadro 8).

### Cuadro 8

*Velocidades críticas y sus pérdidas de carga en tuberías principales del sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Sector de riego | Tramos de velocidades críticas | Velocidad (m/s) | Longitud (m) | Diámetro nominal (mm) | Hf (psi) |
|-----------------|--------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------|----------|
| 12              | 124-126                        | 2.99            | 383.44       | 200                   | 12.86    |
|                 | 110-112                        | 3.62            | 367.21       | 200                   | 24.99    |
|                 | 113-114                        | 5.67            | 245.31       | 160                   | 49.76    |
| 13              | 115-116                        | 5.13            | 90.85        | 160                   | 15.32    |
|                 | 117                            | 4.58            | 121.00       | 160                   | 16.57    |
|                 | 118                            | 3.80            | 104.54       | 160                   | 10.11    |
| 17              | 136-140                        | 2.50            | 531.60       | 160                   | 22.61    |
| 19              | 136-138                        | 3.07            | 161.04       | 160                   | 10.52    |
| 20              | 129                            | 2.80            | 103.10       | 160                   | 5.65     |

*Nota.* psi: libra/pulgada<sup>2</sup>, m/s: metro/ segundo, m: metro, mm: milímetro.

### Carga Dinámica Total.

Con la suma de todas las pérdidas de carga en el sistema de riego, diferencias de altura y presión de operación del emisor, se obtuvo la carga dinámica total (CDT) para cada sector de riego encontrando una considerable desuniformidad al igual que en los caudales instantáneos de estos entre cada sector, debido a la diferencia del área entre cada uno. Se comprobó que en los sectores de mayores hectáreas hay mayores pérdidas de carga, debido a la necesidad de transportar un mayor caudal por medio de las tuberías. En el Cuadro 9 se observan las cargas dinámicas totales por cada sector, siendo el punto más crítico en el sector 13 con una carga de 216.61 psi y el menos crítico el 8, con una carga de 46.78 psi, además se puede ver la relación directa donde dice que, a mayor caudal,

mayores pérdidas de cargas, debido que el mismo sector 13 presenta el mayor caudal instantáneo y el sector 8 el menor, comprobando la relación que existe, de área, caudal y CDT (Banchon Chonillo 2021).

### Cuadro 9

*Carga dinámica total y caudal instantáneo por sectores de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Sectores de riego | Área (ha) | CDT (mca) | CDT (psi) | Caudal Instantáneo (m <sup>3</sup> /h) |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|--|
| 1                 | 4.42      | 51.56     | 73.31     | 201.55                                 |
| 2                 | 4.86      | 46.45     | 66.05     | 217.18                                 |
| 3                 | 3         | 42.63     | 60.61     | 159.6                                  |
| 4                 | 2.87      | 55.69     | 79.19     | 119.97                                 |
| 5                 | 6.86      | 48.60     | 69.11     | 267.76                                 |
| 6                 | 9.81      | 71.86     | 102.19    | 274.68                                 |
| 7                 | 8.61      | 105.24    | 149.65    | 243.97                                 |
| 8                 | 1.57      | 32.90     | 46.78     | 44.84                                  |
| 9                 | 3.32      | 74.17     | 105.47    | 120.85                                 |
| 10                | 3.5       | 93.08     | 132.36    | 113.09                                 |
| 11                | 5.07      | 59.81     | 83.9      | 216.49                                 |
| 12                | 8.31      | 106.42    | 151.32    | 310.63                                 |
| 13                | 9.22      | 152.33    | 216.61    | 319.47                                 |
| 14                | 7.3       | 57.25     | 81.4      | 281.05                                 |
| 15                | 6.53      | 78.94     | 112.25    | 155.74                                 |
| 16                | 6.1       | 73.02     | 103.84    | 154.27                                 |
| 17                | 6.49      | 84.12     | 119.61    | 160.63                                 |
| 18                | 6.18      | 98.47     | 140.02    | 247.02                                 |
| 19                | 9.17      | 66.32     | 94.31     | 185.69                                 |
| 20                | 6.7       | 81.17     | 115.43    | 158.89                                 |

*Nota.* ha: hectárea, mca= metros columna de agua, psi: libra/pulgada<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>/h: metro cúbico/hora.

En el Cuadro 10 se observan los datos del sector crítico, donde se aprecia que la tubería con mayores pérdidas es la secundaria identificada con el número 24, sin embargo, las tuberías principales también mantienen altas pérdidas, como es el caso del tramo de la tubería 113, con 22,37 mca. De igual manera, se observa la variable delta h que en este caso es negativa siendo favorable para la CDT ya que disminuye por esa ganancia de carga. Debido a que en la propiedad no se encontraron filtros,

el valor es 0. Para las válvulas se utilizó la ecuación 13 con el factor adimensional requerido para válvula de bola, la cual se utiliza en la propiedad.

### **Cuadro 10**

*Ejemplo de carga dinámica total del sector 13 de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Carga dinámica total (CDT) | Sector 13 |
|----------------------------|-----------|
| Presión de Operación (mca) | 20.10     |
| Lateral (mca)              | 0.79      |
| HL (mca)                   | 0.70      |
| Tubería secundaria (mca)   |           |
| #24                        | 32.47     |
| Tubería principal (mca)    |           |
| 107                        | 1.73      |
| 108                        | 1.50      |
| 109                        | 1.92      |
| 110                        | 5.74      |
| 111                        | 5.72      |
| 112                        | 6.14      |
| 113                        | 22.37     |
| 114                        | 12.67     |
| 115                        | 6.87      |
| 116                        | 3.92      |
| 117                        | 11.67     |
| 118                        | 7.12      |
| 119                        | 1.60      |
| 120                        | 0.39      |
| Delta H (mca)              | -1.00     |
| Válvulas (mca)             | 6.91      |
| Filtros (mca)              | 0.00      |
| Singularidades (mca)       | 3.00      |
| CDT (mca)                  | 152.33    |
| CDT (psi)                  | 216.61    |

*Nota.* mca: metros columna de agua, HL= altura del emisor, Delta H= diferencia de altura.

### **Evaluación de la Estación de Bombeo**

Para conocer los puntos de trabajo de las bombas y la eficiencia con las que operan al momento de regar cada sector de riego, se requirieron sus curvas, obtenidas a través del catálogo del fabricante. Tomando como referencia el caudal y la CDT, se obtuvieron los puntos de trabajo en cada sector de riego.

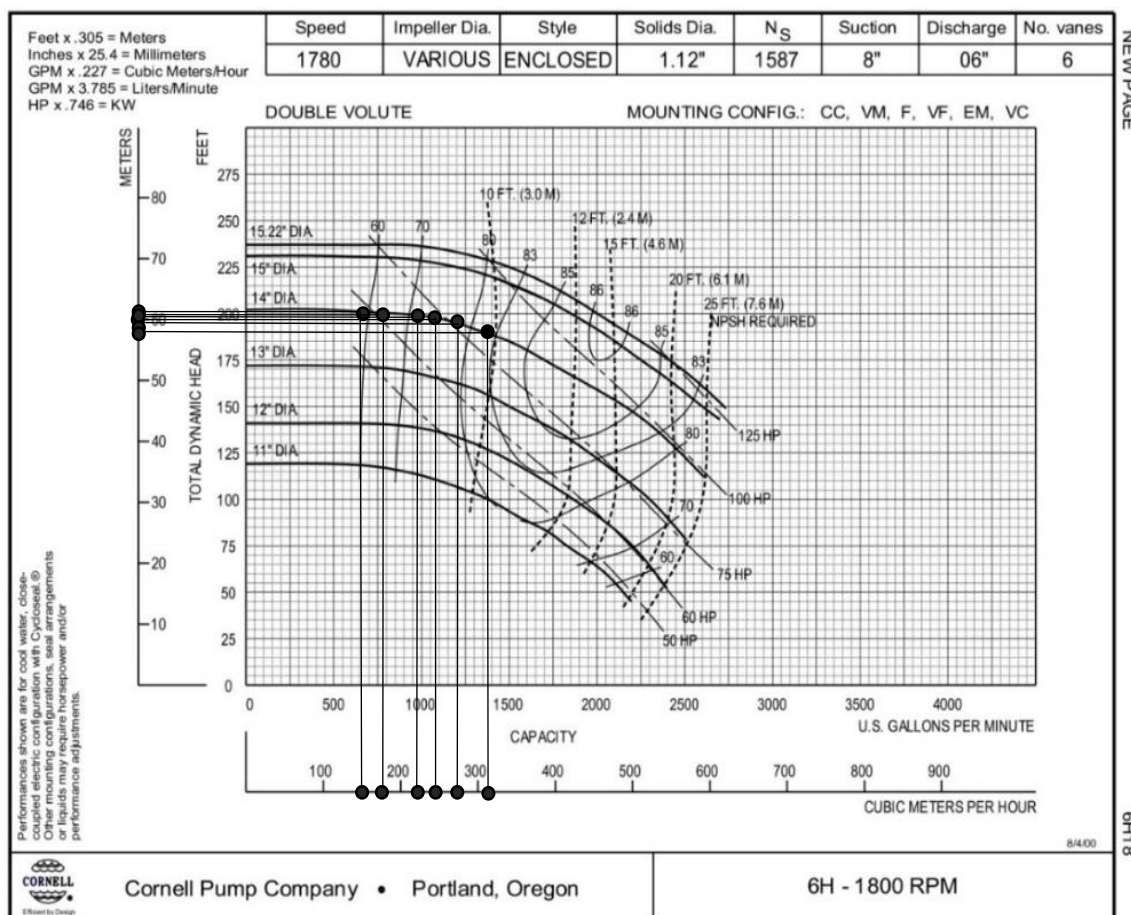


Para la bomba A se encontró que el sector en donde alcanza mayor eficiencia es el 12 con un 83%, sin embargo, el sector presenta perdidas de carga mayores a la presión que puede otorgar la bomba, debido a que requiere de 106.41 mca para poder regar adecuadamente, mientras que la bomba solo podría entregar teóricamente en ese sector un máximo de 58 mca, además se observa que la eficiencia es muy desuniforme debido a la desuniformidad de los caudales de los sectores, manteniéndose en un rango de 60 - 83% de eficiencia (

Figura 9).

**Figura 9**

*Curva de rendimiento Bomba A y puntos de trabajo para los sectores de riego 11-12-14-15-16-17-18-19-20.*



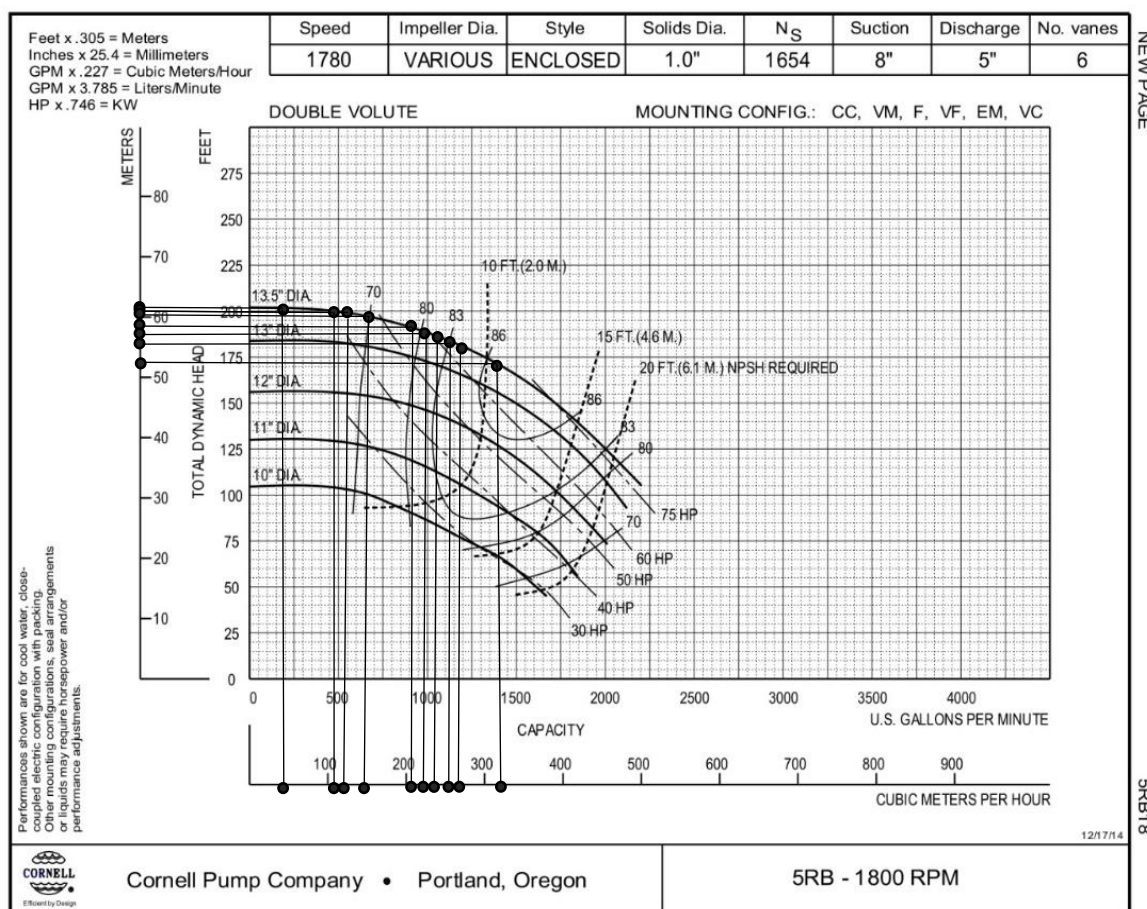
Para la bomba B se encontró el mismo problema, siendo el sector en donde se presenta su mayor eficiencia de trabajo, el sector 13 con una carga dinámica total de 152.33 mca, mientras que la

máxima presión que entregaría teóricamente la bomba en ese sector es de 51 mca, de igual manera que en la bomba A, se observa una desuniformidad en la eficiencia de la bomba por cada punto de trabajo con un rango de 70 - 86% de eficiencia (

Figura 10).

Figura 10

Curva de rendimiento Bomba B y puntos de trabajo para los sectores de riego 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-13.



**Propuesta de Diseño Agronómico**

Se aplicaron las fórmulas del diseño agronómico y se obtuvo una disposición de 24 sectores de 5 hectáreas aproximadamente cada uno (.

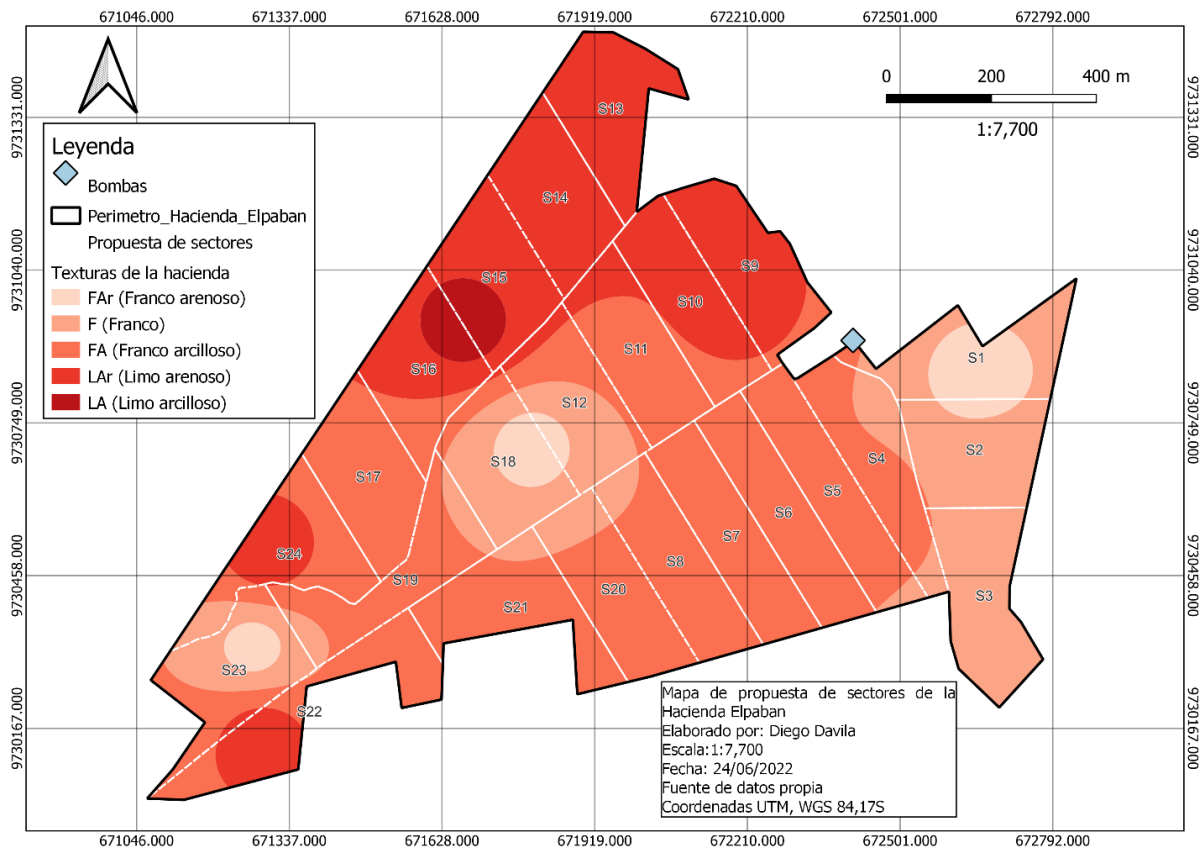
Figura 11). Con las correcciones y la recomendación del 60% de diámetro de mojadura se obtuvo un marco de emisores de 12x10 m<sup>2</sup>, llegando una densidad de emisores uniforme promedio

de 416 por cada sector. El tiempo de riego disminuyó significativamente a 1.46 horas por sector obteniendo un total de 35.04 horas para completar una jornada de riego, sin embargo, se recomienda regar con las dos bombas simultáneamente diferentes sectores, lo cual disminuirá el tiempo total a la mitad y aumentar el tiempo de riego disponible a 18 horas, para poder cumplir con el riego en todos los sectores de la hacienda. Con estas correcciones se demuestra una uniformidad en el caudal y la precipitación instantánea del sistema, disminuyendo el riesgo de deterioro de la bomba y mejorando la eficiencia de operación de esta (

).

**Figura 11**

*Propuesta de sectores de riego para la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*



Para la distribución de los sectores se tomó en cuenta el tipo de suelo y para la nomenclatura de cada uno se utilizó como criterio la distancia existente entre cada sector y la bomba que se va a utilizar, debido a que existen dos bombas diferentes, una con mayor capacidad que la otra.

### Cuadro 11

*Propuesta de diseño agronómico para el sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Sectores de riego recomendados | Área (ha)     | Densidad de emisores (Ne/ha) | Marco de emisores Tres bolillos (m <sup>2</sup> ) | Tiempo de riego (h) | Caudal Instantáneo (m <sup>3</sup> /h) | Precipitación instantánea (mm/h) |
|--------------------------------|---------------|------------------------------|---|---------------------|--|----------------------------------|
| 1                              | 5.04          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 310.38                                 | 6.16                             |
| 2                              | 5.04          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 310.38                                 | 6.16                             |
| 3                              | 5.04          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 310.38                                 | 6.16                             |
| 4                              | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 5                              | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 6                              | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 7                              | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 8                              | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 9                              | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 10                             | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 11                             | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 12                             | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 13                             | 4.95          | 413.00                       | 12x10   | 1.46                | 304.84                                 | 6.16                             |
| 14                             | 4.95          | 413.00                       | 12x10   | 1.46                | 304.84                                 | 6.16                             |
| 15                             | 4.95          | 413.00                       | 12x10   | 1.46                | 304.84                                 | 6.16                             |
| 16                             | 4.95          | 413.00                       | 12x10   | 1.46                | 304.84                                 | 6.16                             |
| 17                             | 4.95          | 413.00                       | 12x10   | 1.46                | 304.84                                 | 6.16                             |
| 18                             | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 19                             | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 20                             | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 21                             | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 22                             | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 23                             | 5.00          | 417.00                       | 12x10   | 1.46                | 307.92                                 | 6.16                             |
| 24                             | 4.95          | 413.00                       | 12x10   | 1.46                | 304.84                                 | 6.16                             |
| <b>Total</b>                   | <b>119.82</b> | <b>9984</b>                  | <b>-</b>  | <b>35.04</b>        | <b>-</b>                               | <b>-</b>                         |
| <b>Promedio</b>                | <b>4.99</b>   | <b>416.00</b>                | <b>-</b>  | <b>1.46</b>         | <b>307.15</b>                          | <b>6.16</b>                      |

*Nota.* ha: hectárea, Ne: número de emisores, m<sup>2</sup>: metro cuadrado, h: hora, m<sup>3</sup>: metro cúbico, mm: milímetros.

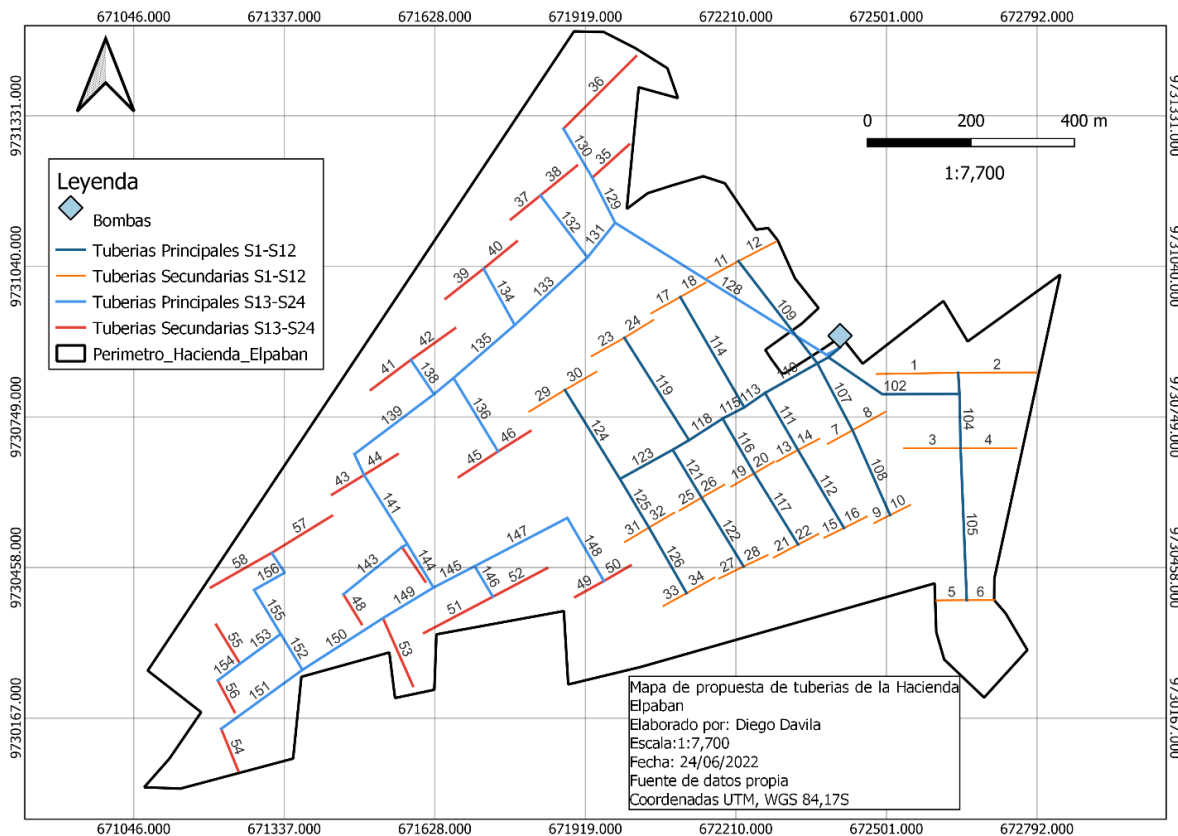
### **Propuesta de Diseño Hidráulico**

De acuerdo con la evaluación, en donde se encontraron pérdidas de cargas muy elevadas, generando una carga dinámica total, aún más elevada, se vio la necesidad de realizar cambios en la disposición de las tuberías primarias y secundarias, ajustando los factores del diseño agronómico del mapa (

Figura 12). Primero se determinó la longitud máxima de la lateral de riego o tubería terciaria (204 m) considerando un diámetro estandarizado de 63 mm en todos los sectores, para después distribuir las tuberías secundarias y por último se realizó la conexión de las tuberías principales a estas. Debido a que en la propiedad se cuentan con dos bombas de riego, se decidió utilizar la bomba de menores dimensiones para regar los sectores aledaños a la estación de bombeo (Sectores 1 - 12), mientras que la bomba más grande se utilizó para regar los sectores más lejanos a la estación de bombeo. (Sectores 13 - 24).

### **Figura 12**

*Propuesta de distribución de tuberías primarias y secundarias para el sistema de riego de la Hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*



De acuerdo con la distribución de las tuberías se realizó el cálculo del diámetro requerido, primero en tuberías secundarias, con el objetivo de no superar en pérdidas el 10% de la presión de operación del emisor, de esta manera se obtuvieron pérdidas mucho menores en comparación con el diseño actual que existe en la propiedad y los diámetros usados en las tuberías secundarias se encuentran entre 90 - 160 mm (Cuadro 12).

**Cuadro 12**

*Propuesta de tuberías secundarias para el sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Sector | Tuberías secundarias | Diámetro (mm)  | Longitud (m) | Hf (psi)            |
|--------|----------------------|----------------|--------------|---------------------|
| 1      | 1-2                  | 160            | 158-150      | 2.30-2.43           |
| 2      | 3-4                  | 160            | 109-108      | 1.82-1.64           |
| 3      | 5-6                  | 140            | 59-53        | 1.75-2.05           |
| 4      | 7-8-9-10             | 110-140-90-90  | 55-73-35-43  | 2.40-1.04-1.58-2.68 |
| 5      | 13-14-15-16          | 110-110-90-110 | 46-46-43-49  | 1.65-1.56-2.71-1.76 |
| 6      | 19-20-21-22          | 110            | 51-44-54-44  | 2.14-1.21-1.73-1.14 |
| 7      | 25-26-27-28          | 110            | 49-51-53-52  | 1.79-1.62-1.39-1.55 |
| 8      | 31-32-33-34          | 110            | 54-57-51-61  | 1.96-1.86-1.17-1.90 |
| 9      | 11-12.               | 140            | 68-82        | 2.47-2.35           |

|    |       |         |         |           |
|----|-------|---------|---------|-----------|
| 10 | 17-18 | 140     | 64-56   | 2.25-1.80 |
| 11 | 23-24 | 140     | 73-66   | 2.54-2.00 |
| 12 | 29-30 | 140     | 80-70   | 2.86-2.04 |
| 13 | 35-36 | 160     | 95-198  | 1.58-2.80 |
| 14 | 37-38 | 140-160 | 74-91   | 1.77-1.85 |
| 15 | 39-40 | 140     | 94-83   | 2.76-2.66 |
| 16 | 41-42 | 140-160 | 97-105  | 2.81-1.72 |
| 17 | 43-44 | 140     | 72-76   | 2.22-2.49 |
| 18 | 45-46 | 160-140 | 90-74   | 1.71-1.94 |
| 19 | 47-48 | 160-140 | 81-68   | 1.68-1.63 |
| 20 | 49-50 | 140     | 64-60   | 2.00-2.04 |
| 21 | 51-52 | 140-160 | 150-119 | 2.71-2.67 |
| 22 | 53-54 | 160     | 143-88  | 1.61-1.82 |
| 23 | 55-56 | 160-140 | 88-69   | 1.86-1.61 |
| 24 | 57-58 | 160-140 | 136-135 | 2.75-2.84 |

*Nota.* mm: milímetro, m: metro, psi: libra/pulgada<sup>2</sup>.

Para el caso de las tuberías principales se logró alcanzar velocidades uniformes y técnicamente aceptables usando tres diámetros (315, 250 y 200 mm) con una velocidad de diseño de 1.5 m/s. Se obtuvo la velocidad más alta en el sector 13 siendo esta 1.45 m/s, mientras que la más baja en el sector 22 de 1.10 m/s (Cuadro 13), cumpliendo con lo mencionado anteriormente (Franquet 2019). En el resto de las tuberías se mantuvo una velocidad uniforme promedio de 1.21 m/s (Anexo H).

**Cuadro 13**

*Velocidades y sus pérdidas de carga en la propuesta de tuberías principales representativas del sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Sector | Tramo de tubería | Velocidad<br>(m/s) | Longitud<br>(m) | Diámetro nominal<br>(mm) | Hf<br>(psi) |
|--------|------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|-------------|
| 2      | 101-104          | 1.21               | 450.07          | 350                      | 2.39        |
| 4      | 108              | 1.14               | 179.25          | 200                      | 1.45        |
| 5      | 112              | 1.44               | 174.98          | 200                      | 2.17        |
| 6      | 117              | 1.44               | 77.16           | 315                      | 2.01        |
| 7      | 122              | 1.43               | 155.76          | 200                      | 1.90        |
| 13     | 130              | 1.45               | 109.85          | 200                      | 1.38        |
| 15     | 134              | 1.20               | 165.84          | 315                      | 0.65        |
| 19     | 143              | 1.28               | 145.43          | 200                      | 1.43        |
| 22     | 151              | 1.10               | 194.15          | 250                      | 1.12        |

*Nota.* Se muestran tramos representativos del sistema, en el Anexo H se muestran las velocidades en todos los tramos de tubería,

m/s: metro/segundo, m: metro, mm: milímetro, psi: libra/pulgada<sup>2</sup>.

Con estas modificaciones se obtuvo una nueva carga dinámica total en cada sector, demostrando que con los cambios realizados en la uniformidad del área y del caudal instantáneo, se llegó a una mayor uniformidad en la CDT, requiriendo menor presión para poder operar en cada sector de riego (*Cuadro 14*). Se obtuvo como valor más alto 65.89 psi, siendo significativamente menor en comparación al punto más crítico actual de la hacienda que alcanza los 216.61 psi.

El aumento de sectores de riego y la disminución del tamaño de estos tuvo relación directa en la CDT, ya que, con un menor tamaño en el área de cada sector se requirió menor caudal y por ende menor carga dinámica total, de la misma manera el cambio en la distribución de tuberías contribuyó a obtener los valores máximos permisibles y no superar el límite de las pérdidas de cargas ya establecido por el 10% de la presión de operación del emisor.



**Cuadro 14**

*Carga Dinámica Total y caudal instantáneo de la propuesta del sistema de riego de la hacienda*

*Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Sectores de riego | Área<br>(ha) | CDT<br>(mca) | CDT<br>(psi) | Caudal Instantáneo<br>(m <sup>3</sup> /h) |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|---|
| 1                 | 5.04         | 41.22        | 58.62        | 310.38                                    |
| 2                 | 5.04         | 40.85        | 58.09        | 310.38                                    |
| 3                 | 5.04         | 41.44        | 58.93        | 310.38                                    |
| 4                 | 5.00         | 36.59        | 52.03        | 307.92                                    |
| 5                 | 5.00         | 38.55        | 54.82        | 307.92                                    |
| 6                 | 5.00         | 38.12        | 54.2         | 307.92                                    |
| 7                 | 5.00         | 36.95        | 52.54        | 307.92                                    |
| 8                 | 5.00         | 38.38        | 54.57        | 307.92                                    |
| 9                 | 5.00         | 34.40        | 48.92        | 307.92                                    |
| 10                | 5.00         | 35.85        | 50.98        | 307.92                                    |
| 11                | 5.00         | 37.17        | 52.85        | 307.92                                    |
| 12                | 5.00         | 36.19        | 51.46        | 307.92                                    |
| 13                | 4.95         | 38.24        | 54.37        | 304.84                                    |
| 14                | 4.95         | 33.72        | 47.95        | 304.84                                    |
| 15                | 4.95         | 34.75        | 49.42        | 304.84                                    |
| 16                | 4.95         | 34.19        | 48.62        | 304.84                                    |
| 17                | 4.95         | 36.45        | 51.84        | 304.84                                    |
| 18                | 5.00         | 35.90        | 51.05        | 307.92                                    |
| 19                | 5.00         | 37.85        | 53.82        | 307.92                                    |
| 20                | 5.00         | 42.96        | 61.09        | 307.92                                    |
| 21                | 5.00         | 46.34        | 65.89        | 307.92                                    |
| 22                | 5.00         | 39.03        | 55.5         | 307.92                                    |
| 23                | 5.00         | 38.78        | 55.14        | 307.92                                    |
| 24                | 4.95         | 39.07        | 55.56        | 304.84                                    |

*Nota.* ha: hectárea, mca: metro columna de agua, psi: libra/pulgada<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>/h: metro cubico/ hora.

### ***Evaluación de la Estación de Bombeo con la Propuesta***

Con los cambios propuestos del sistema de riego, se encontró que la bomba A y B son aptas para regar cada sector de riego alcanzando la bomba B su máxima eficiencia 86%, mientras que la bomba A alcanza el 83%, punto cercano a su máxima eficiencia trabajo teóricamente posible (Figura 13) y (Figura 14). Estas mejoras significativas en la uniformidad de la eficiencia de la bomba permitirán al lugar del estudio reducir gastos en combustible y aplicar el riego de manera correcta. Debido al exceso de presión es necesario colocar una válvula reguladora de presión al inicio de cada sector de riego (Cuadro 15).

Figura 13

Punto de trabajo alcanzado para regar los sectores 13-24 en el sistema de riego, bajo la nueva propuesta de diseño de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.

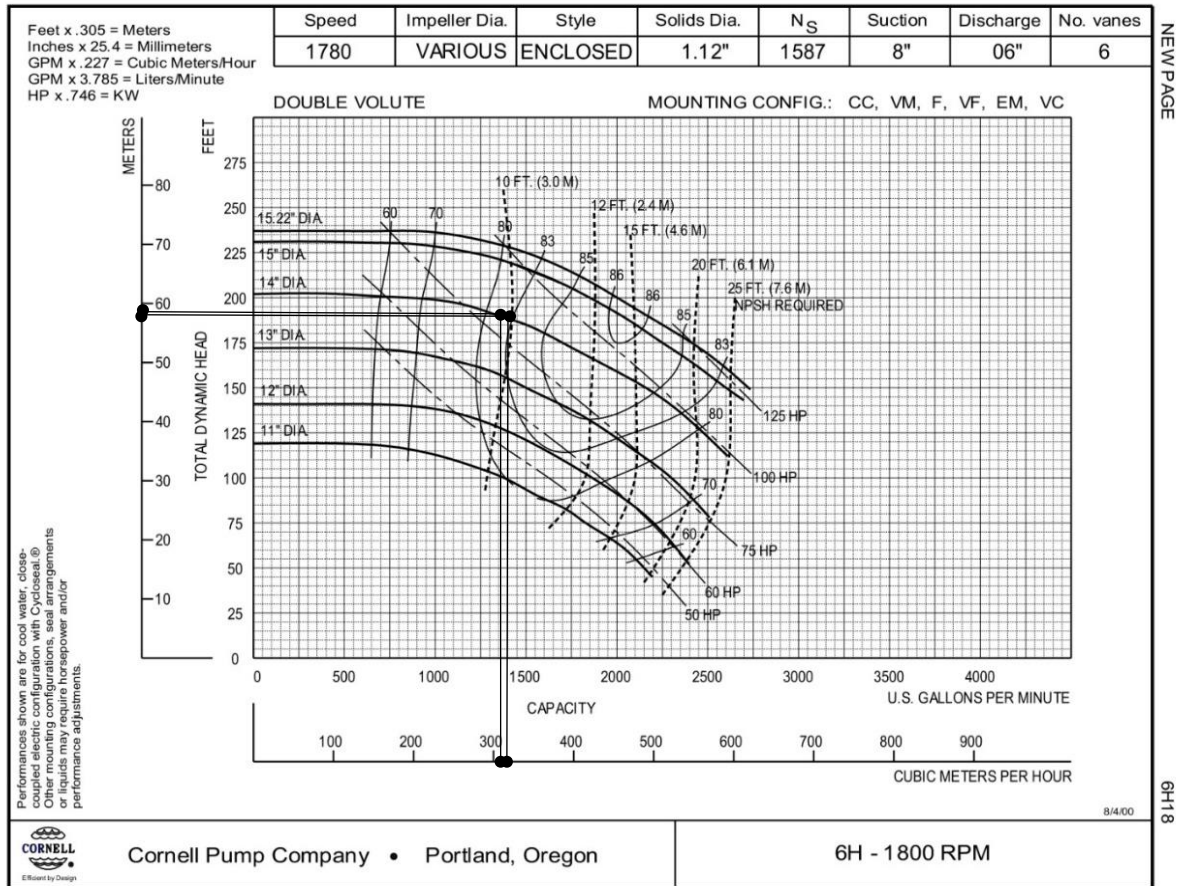
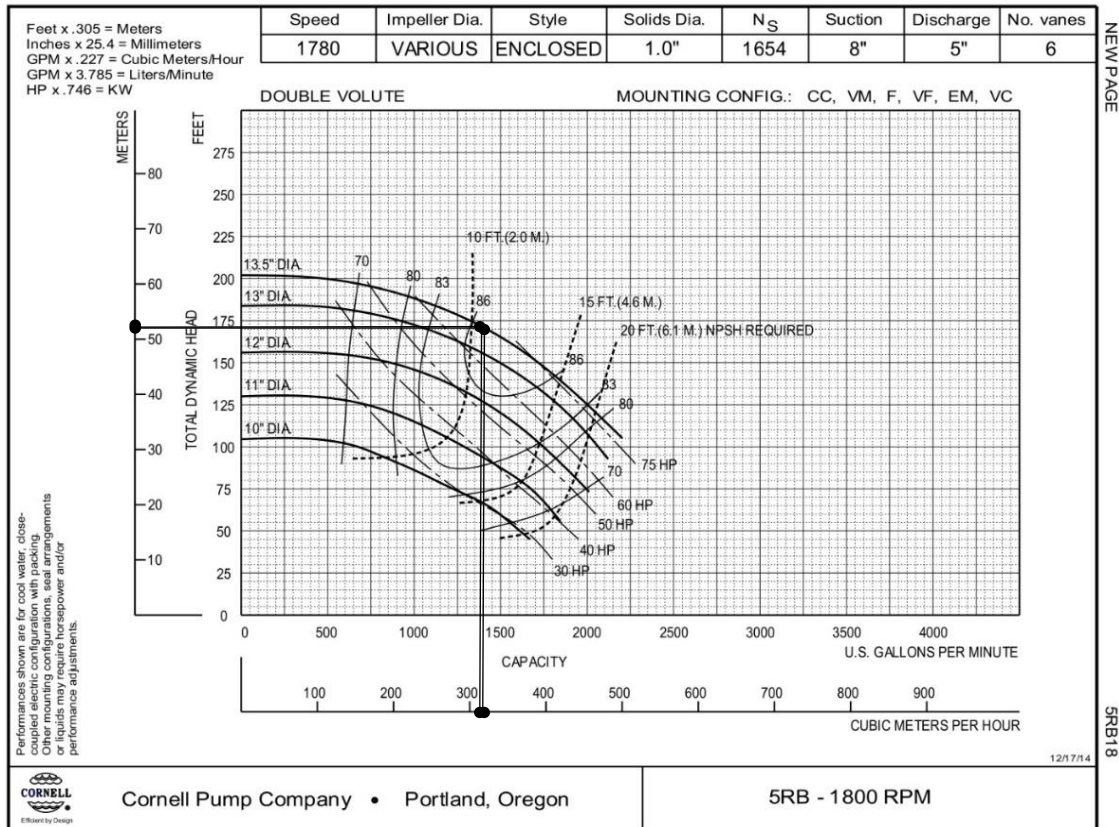


Figura 14

Punto de trabajo alcanzado para regar los sectores 1-12 en el sistema de riego, bajo la nueva propuesta de diseño, de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.



**Cuadro 15**

*Exceso de presión controlado por las válvulas reguladoras de presión por cada sector de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Bomba A |           |                            |                         | Bomba B |           |                            |                         |
|---------|-----------|----------------------------|-------------------------|---------|-----------|----------------------------|-------------------------|
| Sector  | CDT (psi) | Presión de operación (psi) | Presión excedente (psi) | Sector  | CDT (psi) | Presión de operación (psi) | Presión excedente (psi) |
| 1       | 58.62     | 75.26                      | 16.64                   | 13      | 54.37     | 82.36                      | 27.99                   |
| 2       | 58.09     | 75.26                      | 17.17                   | 14      | 47.95     | 82.36                      | 34.41                   |
| 3       | 58.93     | 75.26                      | 16.33                   | 15      | 49.42     | 82.36                      | 32.94                   |
| 4       | 52.03     | 73.84                      | 21.81                   | 16      | 48.62     | 82.36                      | 33.74                   |
| 5       | 54.82     | 73.84                      | 19.02                   | 17      | 51.84     | 82.36                      | 30.52                   |
| 6       | 54.2      | 73.84                      | 19.64                   | 18      | 51.05     | 82.36                      | 31.31                   |
| 7       | 52.54     | 73.84                      | 21.3                    | 19      | 53.82     | 83.78                      | 29.96                   |
| 8       | 54.57     | 73.84                      | 19.27                   | 20      | 61.09     | 83.78                      | 22.69                   |
| 9       | 48.92     | 73.84                      | 24.92                   | 21      | 65.89     | 83.78                      | 17.89                   |
| 10      | 50.98     | 73.84                      | 22.86                   | 22      | 55.5      | 83.78                      | 28.28                   |
| 11      | 52.85     | 73.84                      | 20.99                   | 23      | 55.14     | 83.78                      | 28.64                   |
| 12      | 51.46     | 73.84                      | 22.38                   | 24      | 55.56     | 82.36                      | 26.8                    |

*Nota.* psi: libra/pulgada<sup>2</sup>.

## Conclusiones

Se elaboraron mapas de suelo, topografía, sectores y de tuberías de la hacienda para poder realizar la evaluación agronómica e hidráulica del sistema de riego, los cuales podrán ser implementados para otros análisis o para fines operativos de la propiedad.

En la evaluación agronómica se encontraron deficiencias en la manera que se aplica el riego, debido a la desuniformidad en el caudal instantáneo y distribución de emisores, lo que ocasiona que existan sectores que están siendo subregados.

Se encontró en el estudio hidráulico altas pérdidas de cargas en tuberías secundarias y altas velocidades en tuberías principales, lo que repercute en un alta y desuniforme carga dinámica total entre sectores de riego.

Se encontró que las bombas no son aptas para regar con el diseño del sistema de riego presente en la hacienda debido a la falta de presión teórica que esta puede dar y mantienen eficiencias en los puntos trabajo bajas y desuniformes en los sectores de riego.

Se elaboró una propuesta agronómica e hidráulica, donde se cambió el distanciamiento de los aspersores, la distribución de las tuberías principales, secundarias y laterales, alcanzando una reducción en la carga dinámica total, así como logrando uniformidad en cada uno de los sectores de riego, mejorando también la uniformidad en el caudal instantáneo de estos.

Con la propuesta realizada, se alcanza la presión necesaria para regar y se llega a eficiencias uniformes de 83% en la bomba B y 86% en la bomba A, mejorando la eficiencia en la operación del sistema de riego, incluyendo disminución en la demanda de energía para la operación de este, por efecto directo de la reducción de las pérdidas de carga.

### **Recomendaciones**

Realizar un análisis costo-beneficio del proyecto, para evaluar la viabilidad de este en comparación con los rendimientos que se podrían alcanzar o los ahorros energéticos que se podrían llegar a obtener.

Adquirir una estación meteorológica e instalarla en un punto estratégico dentro de la hacienda, para monitorear de manera más exacta las variables climatológicas de la propiedad.

Adquirir elementos de medición y control, como caudalímetros y manómetros e instalarlos en el cabezal de riego.

## Referencias

- Banchon Chonillo J. 2021. Diseño de un sistema de riego por aspersión en cultivo de banano para la “Finca El Garrido” ubicada en Calichana, Cantón Pasaje, Provincia del Oro [Trabajo de Integración Curricular]. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 106 p; [consultado el 22 de jun. de 2022]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6363/1/UPSE-TIA-2021-0079.pdf>.
- Caicedo O, Balmaseda C, Proaño J, (None). 2015. Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 24(1):38–42. Español. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93233771005>.
- De los angeles PJ. 2007. Diseño de parque municipal en Santa Cruz de los Cábanos. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 30 de jun. de 2022; consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://docplayer.es/12556425-Diseno-de-parque-municipal-en-santa-cruz-de-los-canamos.html>.
- Demin P. 2014. Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. 1ª ed. San Fernando del Valle de Catamarca: Ediciones INTA. 24 p. ISBN: 978-987-521-512-2; [consultado el 18 de jun. de 2022]. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_aportes\\_para\\_el\\_mejoramiento\\_del\\_manejo\\_de\\_los\\_sistemas\\_de\\_riego.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf).
- Duarte P, Montaña C. 2020. Manual de procedimientos para elaboración de mapas de variabilidad espacial de suelos y su aplicación en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. [sin lugar]: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 19 de jun. de 2022.549Z].
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1988. Irrigation Water Management: Irrigation Methods. Roma: [sin editorial]; [consultado el 3 de ago. de 2022]. <https://www.fao.org/3/s8684e/s8684e0a.htm>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2002. El agua - un recurso inapreciable y limitado. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 12 de nov. de 2007.000Z; consultado el 30 de jun. de 2022.959Z]. <https://www.fao.org/ag/esp/revista/0210sp1.htm>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2017. Huella hídrica de la industria bananera | Foro Mundial Bananero | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 9 de jun. de 2022.000Z; consultado el 9 de jun. de 2022.064Z]. es. <https://www.fao.org/world-banana-forum/projects/good-practices/water-footprint/es/>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. Analisis del mercado del banano. Roma: [sin editorial]; [actualizado el 9 de feb. de 2021.000Z; consultado el 28 de jun. de 2022.596Z]. <https://www.fao.org/3/ca7567es/ca7567es.pdf>.
- Fernández Gómez R, Oyonarte Gutiérrez NA, García Bernal JGBP. 2010. Manual de Riego para Agricultores Módulo 3 Riego por aspersión. Junta de Andalucía. Sevilla: Secretaría General Técnica. 117 p. ; [consultado el 20 de jun. de 2022].
- Franquet JM. 2019. Dimensionamiento y distribución de las conducciones hidráulicas: Una contribución a la ingeniería matemática = Dimensioning and distribution of hydraulic conductions: a contribution of mathematical engineering. Primera edición. Tortosa: Universidad Nacional de Educación a Distancia, Centro Asociado de Tortosa. 962 pàgines ;. ISBN: 9788412052602.

- Ganchozo Arevalo PJ, Monserrate Chamba HL. 2018. Diseño y construcción de una unidad didáctica de pérdidas de carga en el laboratorio de operaciones unitarias. Guayaquil: Universidad De Guayaquil. 122 p; [consultado el 21 de jun. de 2022]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6363/1/UPSE-TIA-2021-0079.pdf>.
- Guaycochea D. 1992. Flujo en tubos a presión. México, D.F.: Universidad Autonoma Metropolitana. 387 p. ISBN: 970-620-162-9.
- Guzman Gutierrez SM. 2010. Evaluacion de la Productividad del Agua en el Cultivo del Banano (Musa AAA Simmonds) Para la Zona de Santa Marta Por Medio de la Variacion de Tres Coeficientes de cultivo (kc). Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 92 p; [consultado el 20 de jun. de 2022].
- Heras S. 2011. Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas; [consultado el 22 de jun. de 2022]. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/40180/NR26419.pdf?sequence=1>.
- Herrera R. 2020. Incidencia de la programación del riego en la producción de banano de la finca Santa Martha. Milagro, Ecuador: Universidad Agraria Del Ecuador. 66 p; [consultado el 18 de jun. de 2022].
- Hooton S. 26 de jun. de 2020. Como leer la curva de rendimiento de una bomba. North Ridge Pumps; [consultado el 21 de jun. de 2022.458Z]. [https://www.northridgepumps.com/article-261\\_como-leer-la-curva-de-rendimiento-de-una-bomba](https://www.northridgepumps.com/article-261_como-leer-la-curva-de-rendimiento-de-una-bomba).
- Jimenez S. 2017. Diseño Agronómico e hidráulico de sistemas de riego presurizado. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 18 de jun. de 2022.000Z; consultado el 19 de jun. de 2022.193Z]. [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego\\_por\\_aspersixn.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf).
- Lopez R. 2016. Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapredial para el sur de Chile [Conceptos y consideraciones básicas en métodos y programación de riego para optimizar el recurso hídrico]; [consultado el 30 de jun. de 2022].
- Luters A, Salazar J. 1999. Guia para levantamiento de suelos. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 30 de jun. de 2022.000Z; consultado el 30 de jun. de 2022.643Z]. <https://www.slideshare.net/elviti666/guia-para-levantamiento-de-suelos>.
- Muñoz L. 2016. Qué es el Riego por Microaspersión: Ventajas e inconvenientes. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado 2016; consultado el 19 de jun. de 2022.895Z]. <https://www.agrohuerto.com/riego-por-microaspersion/>.
- Orihuela Contreras JA. 2015. Tipos de pendientes y formas de relieve. [sin lugar]: Universidad Nacional del Callao; [actualizado el 20 de jun. de 2022.000Z; consultado el 20 de jun. de 2022.426Z]. <https://es.slideshare.net/dZefO1/tipos-de-pendientes-y-formas-de-relieve>.
- Peralta J, Simpfendörfer C. 2001. Riego por aspersion. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 4 de jul. de 2022]. 49 p.
- Tapia F, Osorio A. 1999. Conceptos sobre el diseño y manejo de riego presurizado. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/39967/NR29539.pdf?sequence=1>.
- Toapanta Ramos LF, Bohórquez Peñafiel GA, Caiza Vivas LE, Quitiaquez Sarzosa W. 2018. Análisis numérico de los perfiles de velocidad de un flujo de agua a través de una tubería con reducción gradual. Enfoque UTE. 9(3):80–92. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7535/822100.2011.pdf?sequence=1>. doi:10.29019/enfoqueute.v9n3.290.



## Anexos

### Anexo A

Herramienta de evaluación utilizada para evaluar el sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.

#### Instrumento de Evaluación



##### Información general

|                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Nombre persona a cargo             | Christian                        |
| Cargo                              | Administrador                    |
| Unidad                             | Total                            |
| Ubicación                          | Hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador |
| Superficie total bajo riego        | 119.8 ha                         |
| Disponibilidad de diseño (Sí - No) | Sí                               |
| Estudio de suelos (Sí - No)        | No                               |

##### Cabecera de riego

|   |             |                               |         |
|---|-------------|-------------------------------|---------|
| Tipo de Bomba                             | Superficial | Área de Riego Total (ha)      | 120 ha  |
| Tipo de Energía (Eléctrica o Combustible) | Combustión  | Rodete (mm)                   |         |
| Diámetro de descarga (pulgadas)           | 250 mm      | Presión Descarga (bar)        |         |
| Diámetro Salida al sistema                | 250 mm      | Altura (mnm)                  | 44      |
| Modelo                                    | 6 H-5RB     | Marca                         | Cornell |
| Motor (HP)                                | 160-120     | Velocidad (r.p.m.)            | 1800    |
| ¿Sonda guarda nivel? (Sí - No)            |             | ¿Está en operación? (Sí - No) | Sí      |
| Observaciones                             |             |                               |         |

##### Elementos de control

|   |    |                       |  |
|---|----|-----------------------|--|
| Caudalímetro (Sí - No)  | NO | Marca                 |  |
| Caudal Real (m <sup>3</sup> /h)                                     |    | Diámetro:             |  |
| Ubicación   |    |                       |  |
| Distancia A Arriba (m)  |    | Distancia A abajo (m) |  |
| Mantenimiento   |    |                       |  |
| Observaciones No cuenta con caudalímetro, ni manómetro, ni filtros. |    |                       |  |

##### Labores de mantención

|   |                     |
|---|---------------------|
| Labor   | 1 vez cada 12 meses |
| Evaluación de caudales (aforo de emisores)    | Sí                  |
| Lavado de tubería principal                   | NO                  |
| Lavado de tubería secundaria                  | NO                  |
| Descole de laterales de riego                 | NO                  |
| Mantenimiento al solenoide de electroválvulas | NO                  |
| Regulación de presión en las válvulas         | NO                  |
| Otra ¿Cuál?                                   |                     |
| Otra ¿Cuál?                                   |                     |

**Anexo B**

*Medición de distancia entre aspersores y laterales de riego en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*



**Anexo C**

*Aforo de aspersor en la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador*





## Anexo D

*Factor adimensional de perdida de cargas en accesorios*

## Pérdidas de carga en accesorios

| Pieza, conexión o dispositivo | $K_f$ |
|-------------------------------|-------|
| Rejilla de entrada            | 0.80  |
| Válvula de pie                | 3.00  |
| Entrada cuadrada              | 0.50  |
| Entrada abocinada             | 0.10  |
| Entrada de borda o reentrada  | 1.00  |
| Ampliación gradual            | 0.30  |
| Ampliación brusca             | 0.20  |
| Reducción gradual             | 0.25  |
| Reducción brusca              | 0.35  |
| Codo corto de 90°             | 0.90  |
| Codo corto de 45°             | 0.40  |
| Codo largo de 90°             | 0.40  |
| Codo largo de 45°             | 0.20  |
| Codo largo de 22° 30'         | 0.10  |
| Tee con flujo en línea recta  | 0.10  |
| Tee con flujo en ángulo       | 1.50  |
| Tee con salida bilateral      | 1.80  |
| Válvula de compuerta abierta  | 5.00  |
| Válvula de ángulo abierta     | 5.00  |
| Válvula de globo abierta      | 10.0  |
| Válvula alfallera             | 2.00  |
| Válvula de retención          | 2.50  |
| Boquillas                     | 2.75  |
| Controlador de gasto          | 2.50  |
| Medidor Venturi               | 2.50  |
| Confluencia                   | 0.40  |
| Bifurcación                   | 0.10  |
| Pequeña derivación            | 0.03  |
| Válvula de mariposa abierta   | 0.24  |

**Anexo E**

*Ficha técnica aspersor Banariego 5022 utilizado en sistema de riego de la hacienda, Elpaban, Cañar, Ecuador.*

**ASPERSOR BANARIEGO 5022**



Este aspersor está diseñado para cumplir con los exigentes requerimientos de los proyectos de riego. Fabricado con materiales de calidad que le confieren durabilidad y un excelente desempeño. Ángulo de 23 grados de salida.

- Boquillas removibles frontal y posterior removibles
- Eje de acero
- Protector se simbra (resorte)
- Conexión macho 1/2 pulgada
- Empaques reforzados

**ASPE000106 ASPERSOR 1/2' 2 SALIDAS CON 2 BOQ.REMO C/CAP**

**CARACTERISTICAS SALIDAS: 2 TIPO DE CONEXIÓN: 1/2" M**

| BOQUILLA                       | PRESION bar | PRESION PSI | ALCANCE m | CAUDAL gal/min | CAUDAL l/h |
|--------------------------------|-------------|-------------|-----------|----------------|------------|
| 2.5 x 1.8<br><i>COMPROBADO</i> | 1           | 14          | 7         | 2.3            | 515        |
|                                | 1.5         | 22          | 8         | 2.8            | 635        |
|                                | 2           | 29          | 8.4       | 3.3            | 739        |
|                                | 2.5         | 36          | 8.9       | 3.7            | 830        |
|                                | 3           | 43          | 9.3       | 4.0            | 913        |
| 4.0 x 1.8<br><i>COMPROBADO</i> | 1           | 14          | 7         | 3.7            | 843        |
|                                | 1.5         | 22          | 9         | 4.5            | 1026       |
|                                | 2           | 29          | 10        | 5.2            | 1180       |
|                                | 2.5         | 36          | 10        | 5.8            | 1315       |
|                                | 3           | 43          | 11        | 6.3            | 1437       |



**ASPE000133 BOQUILLAS BANARIEGO ASPERSORES 1/2'**

Boquilla de 2.5 mm para menor caudal del aspersor, aumentar el número de aspersores por línea y mejorar la eficiencia



## Anexo F

Ficha técnica de las tuberías utilizadas en sistema de riego de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.



| Díámetro Nominal<br>Ext. D1(mm.) | Espesor<br>(mm.) | Díámetro Interior<br>(mm.) | Longitud Útil<br>(mts.) | Peso promedio<br>(kg.) |
|----------------------------------|------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| PN-5 (Serie 20) SDR 41           |                  |                            |                         |                        |
| 63                               | 1.60             | 59.80                      | 5.88                    | 3.00                   |
| 75                               | 1.90             | 71.20                      | 5.87                    | 4.16                   |
| 90                               | 2.20             | 85.60                      | 5.86                    | 5.83                   |
| 110                              | 2.70             | 104.60                     | 5.85                    | 8.58                   |
| 140                              | 3.50             | 133.00                     | 5.83                    | 14.07                  |
| 160                              | 4.00             | 152.00                     | 5.82                    | 18.19                  |
| 200                              | 4.90             | 190.20                     | 5.80                    | 27.78                  |
| 250                              | 6.20             | 237.60                     | 5.76                    | 43.97                  |
| 315                              | 7.70             | 299.60                     | 5.74                    | 68.36                  |
| 355                              | 8.70             | 337.60                     | 5.72                    | 86.90                  |
| 400                              | 9.80             | 380.40                     | 5.70                    | 110.09                 |
| 450                              | 11.00            | 428.00                     | 5.73                    | 138.76                 |
| 500                              | 12.30            | 475.40                     | 5.71                    | 172.65                 |
| 630                              | 15.40            | 599.20                     | 5.70                    | 271.79                 |

### Anexo G

*Perdidas de carga en tuberías secundarias de la hacienda Elpaban, Cañar, Ecuador.*

| Sector | Tuberías secundarias | Diámetro Nominal (mm) | Longitud (m) | Hf (psi) |
|--------|----------------------|-----------------------|--------------|----------|
| 1      | 1                    | 90                    | 175.07       | 21.57    |
|        | 2                    | 90                    | 131.78       | 14.27    |
|        | 3                    | 90                    | 141.68       | 8.19     |
| 2      | 4                    | 90                    | 109.29       | 4.15     |
|        | 5                    | 75                    | 121.63       | 10.45    |
|        | 6                    | 75                    | 91.07        | 4.86     |
|        | 7                    | 75                    | 98.47        | 8.2      |
| 3      | 8                    | 75                    | 68.93        | 3.52     |
|        | 9                    | 75                    | 80.3         | 4.86     |
|        | 10                   | 75                    | 42.18        | 1.24     |
| 4      | 11                   | 63                    | 80.35        | 26.82    |
|        | 12                   | 63                    | 74.47        | 16.56    |
| 5      | 13                   | 110-90                | 154.82       | 10.05    |
|        | 14                   | 110-90                | 391.73       | 29.49    |
| 6      | 15                   | 110-90                | 442.84       | 55.25    |
|        | 16                   | 110-90                | 394.51       | 32.61    |
| 7      | 17                   | 110-90-75             | 348.49       | 99.34    |
| 8      | 18                   | 110-90-75             | 285.21       | 4.42     |
| 9      | 19                   | 63                    | 59.1         | 9.9      |
|        | 21                   | 63                    | 131.38       | 50.75    |
| 10     | 25                   | 63                    | 138.31       | 16.132   |
|        | 27                   | 63                    | 168.38       | 74.33    |
| 11     | 28                   | 110-90                | 76.03        | 0.23     |
|        | 29                   | 110-90                | 142.34       | 1.32     |
|        | 30                   | 90-75                 | 204.17       | 30.41    |
|        | 31                   | 90-75                 | 249.21       | 34.42    |
| 12     | 32                   | 90-75                 | 273.32       | 33.96    |
|        | 33                   | 75-63                 | 283.56       | 87.86    |
|        | 20                   | 75                    | 119.44       | 5.02     |
| 13     | 22                   | 75                    | 89.05        | 3.99     |
|        | 23                   | 75-63                 | 154.37       | 11.61    |
|        | 24                   | 90-75                 | 194.88       | 58.02    |
|        | 26                   | 90-75                 | 169.29       | 44.92    |
| 14     | 37                   | 110-90                | 334.37       | 19.54    |
|        | 38                   | 110-90                | 393.46       | 32.21    |
| 15     | 40                   | 90                    | 387.65       | 68.69    |
|        | 42                   | 75-63                 | 276.29       | 29.55    |
| 16     | 45                   | 75                    | 236.51       | 26.32    |
|        | 47                   | 75                    | 246.53       | 56.1     |
| 17     | 48                   | 63                    | 192.9        | 13.5     |
|        | 49                   | 90                    | 287.93       | 50.37    |
| 18     | 39                   | 90-75                 | 114.95       | 1.2      |
|        | 41                   | 90-75                 | 209.95       | 8.86     |
|        | 43                   | 75-63                 | 310.24       | 64.89    |
| 19     | 44                   | 110-90                | 518.92       | 27.15    |
|        | 46                   | 110-90                | 608.47       | 38.09    |
| 20     | 34                   | 63                    | 179.76       | 59.81    |
|        | 35                   | 63                    | 212.98       | 45.08    |
|        | 36                   | 63                    | 167.97       | 39.42    |

