

DISEÑO DE REDES DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN
HACIENDA HIMALAYA, LA CUMBRE, VALLE DEL CAUCA

MILTON SALAMANCA GALINDEZ

CÓD.: 201325917

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y DEL MEDIO
AMBIENTE (EIDENAR)

INGENIERÍA AGRÍCOLA

2022

DISEÑO DE REDES DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN
HACIENDA HIMALAYA, LA CUMBRE, VALLE DEL CAUCA

AUTOR:

MILTON SALAMANCA GALINDEZ

CÓD.: 201325917

Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero Agrícola

DIRECTOR:

ANDRÉS FERNANDO ECHEVERRI SÁNCHEZ

Ingeniero Agrícola, MSc en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, PhD en Ingeniería

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL
AMBIENTE (EIDENAR)

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

SANTIAGO DE CALI

2022

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia por el apoyo incondicional.

Al profesor y director del programa, Ingeniero Andrés Fernando Echeverri por abrigarme bajo su conocimiento y darme la oportunidad de implementar este proyecto.

Al área de gerencia de la compañía Agrícola Himalaya S.A., en cabeza del gerente Andrés Velazco, Carlota Llano y Carlos Astaiza por brindarme el apoyo y la oportunidad de aplicar los conocimientos técnicos de la carrera.

Al Superintendente de Hacienda, Paulo Andrés Bedoya, quien me transmitió el conocimiento social y técnico para poder desarrollar este proyecto, además de brindar apoyo logístico para la realización de este.

A los ingenieros Manuel Santiago Polanco, Miller Linares, Cristian Orlando Jiménez, Waldemar Peñarete y Nicolás Vergara por todo el tiempo dedicado a través de sus sugerencias y correcciones.

DEDICATORIA

Principalmente a mi familia, mis padres, mis hermanos y mis tías, quienes a través de sus consejos y paciencia determinaron esta meta lograda.

A mis compañeros, amigos y las personas que de cualquier forma colaboraron con el objetivo de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVO GENERAL	13
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
3.1. EL CULTIVO DE TÉ.....	14
3.2. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS	14
3.2.1. Taxonomía	14
3.2.2. Clima.....	15
3.2.3. Temperatura	15
3.2.4. Suelo.....	15
3.2.5. Densidad de siembra	15
3.3. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL TÉ	15
3.4. VARIABLES CLIMÁTICAS DE IMPORTANCIA EN EL TÉ	16
3.5. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO Y EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO	17
3.5.1. El riego y su importancia.....	18
3.6. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TÉ	22
4. METODOLOGÍA	25
4.1. LOCALIZACIÓN.....	25
4.2. DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS PREVIOS Y ACTUALES DE RIEGO	27
4.2.1. Captaciones	28
4.2.2. Infraestructura de almacenamiento.....	28
4.2.3. Sistemas de conducción	28
4.3. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA.....	29
4.3.1. Requerimiento Hídrico del Cultivo.....	29
4.3.2. Necesidades de Riego Netas.....	29
4.3.3. Eficiencia del Proyecto.....	30
4.3.4. Necesidades de Riego Totales	30

4.3.5. Caudal Demandado en Flujo Continuo	30
4.4. DISEÑO PREDIAL DE LAS REDES DE CONDUCCIÓN	31
4.5. SIMULACIÓN DE LA RED HIDRÁULICA EN EPANET	31
4.5.1. Datos de entrada.....	32
4.5.2. Criterios de diseño	32
4.5.3. Datos de Salida.....	33
4.6. COSTEO PRELIMINAR	33
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
5.1. DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS PREVIOS Y ACTUALES DE RIEGO	35
5.1.1. Captaciones	35
5.1.2. Infraestructura de almacenamiento.....	36
5.1.2.1. <i>Reservorio La Iglesia</i>	38
5.1.2.2. <i>Reservorio Casa Piedra</i>	38
5.1.3. Sistemas de conducción	39
5.2. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA.....	40
5.2.1. Requerimiento hídrico del cultivo	40
5.2.2. Necesidades de riego netas.....	42
5.2.3. Eficiencia del proyecto	44
5.2.4. Necesidades de riego totales.....	44
5.2.5. Caudal demandado en flujo continuo.....	44
5.3. DISEÑO PREDIAL DE REDES DE CONDUCCIÓN	45
5.4. SIMULACIÓN DE RED HIDRÁULICA EN EPANET	50
5.5. COSTEO PRELIMINAR	60
5.5.1. Red de conducción Reservorio Casa Piedra	60
5.5.2. Red de conducción Reservorio La Iglesia.....	60
5.5.3. Red de distribución Reservorio La Iglesia – Lt14 – B - Lt15, 16, 17, 18, Rincón y Potreros	61
5.5.4. Red de distribución Reservorio Casa Piedra – Lt10 – A – B.....	61
5.5.5. Red de distribución A – Lt11, 12, 13, 19 y 20	62
5.5.6. Recomendaciones técnicas de zanjado.....	62

6.	CONCLUSIONES	64
7.	RECOMENDACIONES	65
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
9.	ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características geográficas y climáticas del municipio de La Cumbre. _	25
Tabla 2. Concesiones otorgadas de CVC a Agrícola Himalaya. _____	36
Tabla 3. Relación potencial de concesiones y reservorios enmarcadas en el proyecto. _____	39
Tabla 4. Características de redes existentes en la Hacienda. _____	39
Tabla 5. Requerimientos hidráulicos de sistema de riego diseñado e instalado por ETAGRO. _____	46
Tabla 6. Requerimientos hidráulicos del sistema de riego diseñado por ALVECA S.A.S. _____	47
Tabla 7. Rangos de presión de trabajo PVC. _____	54
Tabla 8. Presiones en puntos de entrega con modelación La iglesia- B - A - lotes 11, 12, 19, 20 y 13. _____	56
Tabla 9. Presión en puntos de entrega con modelación dinámica de red suplida por reservorio Casa Piedra. _____	56
Tabla 10. Presiones resultantes mediante modelación dinámica de la red La Iglesia - B - LT14, LT15, LT16, LT17, LT18, Potreros, El Rincón. _____	58
Tabla 11. Presiones obtenidas en las entregas red Casa Piedra - B - A - LT15, 16, 17, 18, Potreros y El Rincón. _____	59
Tabla 12. Costeo preliminar de materiales red de conducción Reservorio Casa Piedra _____	60
Tabla 13. Costeo preliminar materiales de red de conducción Reservorio La Iglesia. _____	60
Tabla 14. Costeo preliminar de materiales red de distribución La Iglesia - B - Lt14, lt15, 16, 17, 18, Rincón y Potreros. _____	61
Tabla 15. Costeo preliminar de materiales de red de distribución Casa Piedra - Lt10 - A - B. _____	62
Tabla 16. Costeo preliminar red A - LT11, 12, 13, 19 Y 20. _____	62

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Mapas de localización Hacienda Himalaya.	26
Figura 2. Concesiones, lotes y reservorios en la Hacienda Himalaya.....	27
Figura 3. Metodología representada mediante diagrama de flujo.	34
Figura 4. Distribución geográfica de los reservorios actuales y proyectados.	37
Figura 5. Estado del reservorio La Iglesia.	38
Figura 6. Curvas de evapotranspiración (ET_0) con probabilidad tipo Weibull.....	41
Figura 7. Evapotranspiración mensual del cultivo.	42
Figura 8. Precipitación mensual con probabilidad de excedencia tipo Weibull.	42
Figura 9. Precipitación efectiva mensual.....	43
Figura 10. Necesidades de Riego Netas del cultivo.....	43
Figura 11. Necesidades de riego totales del cultivo.	44
Figura 12. Caudal en flujo continuo y caudal concesionado en la Hacienda.	45
Figura 13. Trazado preliminar de redes de conducción en la Hacienda Himalaya.	48
Figura 14. Plano topográfico de rutas de conducción de tomas hacia reservorios en la zona alta de la Hacienda.....	49
Figura 15. Plano topográfico de rutas de conducción desde reservorios hacia puntos de entrega en la Hacienda.	50
Figura 16. Resultado de modelación estática de red de conducción Casa Piedra.	51
Figura 17. Resultado de modelación dinámica de red de conducción Casa Piedra.	52
Figura 18. Esquema general de red de conducción desde reservorios hasta puntos de entrega.....	53

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados de modelación hidráulica estática (A) y dinámica (B) de red de conducción La Iglesia.	70
Anexo 2. Resultados de modelación hidráulica estática (A) y dinámica (B) de red Casa Piedra - A - Lotes 10, 11, 12, 13, 19 y 20.	71
Anexo 3. Resultados de modelación hidráulica estática (A) y dinámica (B) de red La Iglesia - A - B y lotes 11, 12, 13, 19 y 20.	72
Anexo 4. Modelación estática para cámara de quiebre de 53.27 m.c.a. (A) y 62.68 m.c.a. (B) sobre la conducción La Iglesia- B - A - LT 11, 12, 13, 19 y 20.	73
Anexo 5. Resultados de modelación estática (A) y dinámica (B) de la red La Iglesia - B - LT15, 16, 17, 18, potreros y El Rincón.	74
Anexo 6. Modelación estática (A) y dinámica de la red reservorio Casa Piedra - A - B - Lt15, 16, 17, 18, Rincón y Potreros.	75
Anexo 7. Modelación estática (A) y dinámica (B) con dos cámaras de quiebre de la red La Iglesia - B - LT 14, 15, 16, 17, 18 - Potreros - El Rincón.....	76
Anexo 8. Modelación estática (A) y dinámica (B) de red Casa Piedra - A - B - LT15, 16, 17, 18, Potreros y El Rincón con dos cámaras de quiebre.	77
Anexo 9. Plano de despiece de Red de Conducción Reservorio Casa Piedra	78
Anexo 10. Plano de despiece red de conducción Reservorio La Iglesia.....	79
Anexo 11. Plano de despiece red de distribución La Iglesia - Lt14 - B - Lt15, 16, 16, 18, Rincón y Potreros	80
Anexo 12. Plano de despiece red de distribución Casa Piedra - Lt10 - A - B	81
Anexo 13. Plano de despiece red de distribución A - LT11, 12, 13, 19 Y 20.	82
Anexo 14. Vista en planta y perfil cámara de quiebre.	83

LISTA DE ABREVIATURAS

AQUASTAT: Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura

CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical

CTC: crush, tear, curl. | triturar, rasgar, rizar

CVC: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

FAO: Food and Agricultural Organization of United Nations | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

GEI: Gases de Efecto Invernadero

IMD: India Meteorological Department | Departamento Meteorológico de India

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change | Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

NL – AC: No labranza – Agricultura de Conservación

PERSIANN: Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using artificial Neural Networks | Estimación de Precipitación a partir de Información de Teledetección usando Redes Neuronales Artificiales

PUEAA: Programa del Uso Eficiente y Ahorro del Agua.

RIMES: Regional Integrated Multi-Hazard Early Warning System for Africa and Asia | Sistema Integrado Regional de Alerta Temprana de Riesgos Múltiples para África y Asia

SITR: South Indian Tea Regions | Regiones de té del Sur de India

SWD: Soil Water Deficit | Déficit Hídrico del Suelo

SWC: Soil Water Content | Contenido de Humedad del Suelo

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

UPASI TRF: UPASI Tea Research Foundation | Fundación de Investigación del Té UPASI

VPD: Vapour-pressure deficit | Déficit de presión de vapor

RESUMEN

El presente documento expone los resultados del diseño de redes de conducción desde concesiones hacia reservorios y a su vez, desde reservorios hacia los puntos de entrega distribuidos en la zona media y alta del cultivo de té ubicado en la Hacienda Himalaya, La Cumbre, Valle del Cauca. Este trabajo comprendió labores de planificación, topografía, replanteo, diseño y costeo de dichas redes.

De esta manera se obtuvieron 3 redes de conducción desde concesiones hacia reservorios y 3 redes de conducción desde los reservorios hacia los cultivos con una longitud total aproximada de 4 kilómetros siendo recomendado tubería de polietileno para los primeras y tubería PVC para los segundos, con tres cámaras de quiebre de presión y dos pasos elevados, los cuales fueron modelados hidráulicamente en un software libre. Adicionalmente se realizó la estimación de la demanda hídrica mensual del cultivo de té y fue contrastada con el caudal concesionado en la Hacienda.

Por último, con base en los listados y características de cada uno de los materiales se construyó un presupuesto preliminar que le sirviera a la compañía como una idea inicial para su posterior ejecución. Dicho presupuesto de manera global fue de 147'476.889 pesos, sin embargo, teniendo en cuenta el área que sería beneficiada por estas redes de conducción serían 30.98 ha de cultivo actualmente sembrado y 22.71 ha de futuras siembras, el costo unitario por hectárea esperado sería de 2'746.822,29 pesos. Por otro lado, la estimación de la demanda hídrica del cultivo arrojó un valor un valor máximo mensual de 36,184.32 m³ y, al comparar la demanda mensual con el caudal concesionado disponible se determinó una necesidad de almacenamiento de 12,181.92 m³ para suplir el déficit presentado entre los meses de julio y agosto.

Palabras clave: hidráulica, modelación, diseño, riego agrícola, té.

1. INTRODUCCIÓN

Agrícola Himalaya S.A. es una empresa colombiana productora de té (*Camellia sinensis*) que posee la única plantación con certificaciones orgánicas internacionales en el país (Cámara de Comercio de Cali, 2018). Esta compañía comercializa dos marcas en el mercado (tanto nacional como internacional): Hindú y Bitaco. La Hacienda Himalaya, donde se sitúan los cultivos de la marca Bitaco, se encuentra en el corregimiento del mismo nombre, en jurisdicción del municipio de La Cumbre, en el departamento Valle del Cauca; ubicado en el noroccidente del país.

Inicialmente, el enfoque de la compañía era un producto *commodity*, sin embargo, a través del tiempo este cambió a productos de alta calidad. La necesidad aumentar los rendimientos del cultivo para este tipo de producción se alineó con: la necesidad de cumplir con una de las metas resultantes del PUEAA, conocer los requerimientos del cultivo, adoptar estrategias de adaptación al cambio climático y la oportunidad del proponente de este proyecto para aplicar los conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Agrícola, desencadenando esto en el desarrollo de este proyecto.

Dado que este proyecto será el punto de partida de la ejecución de los proyectos resultantes del PUEAA, se tuvo en cuenta los proyectos a futuro que tendrán como requisito tener una red diseñada e instalada de distribución del caudal concesionado (sistemas de riego, reservorios, etc.). Con base en las anteriores proyecciones fue planteada, diseñada y modelada una red que permitiera conducir el agua desde las concesiones, con redes sin diseños hidráulicos o sin redes de conducción, hacia reservorios tanto existentes como proyectados para construcción.

A su vez, dicha red tuvo el objetivo de conducir el agua acopiada en los reservorios mencionados hacia los puntos prediales de entrega requeridos a lo largo del cultivo con base en los requerimientos de presión y caudal de los sistemas de riego que ya han sido diseñados o instalados para la hacienda.

Además, este proyecto dio a conocer a la compañía el costo preliminar que se debiera asumir por la posible instalación de esta red, esto a través de la cotización de los materiales y mano de obra resultantes del diseño. Por último, como parte del documento se tomó la necesidad de la compañía de estimar los requerimientos hídricos del cultivo y a su vez, compararlos con el caudal concesionado por la CVC.

En las primeras páginas del documento se presenta el contexto agronómico del cultivo de té producido en la Hacienda Himalaya. Posteriormente los requerimientos hídricos, variables climáticas de mayor relevancia para el cultivo y la influencia del riego en los rendimientos del cultivo a lo largo de los países productores.

Posteriormente, se menciona la localización de la zona de estudio, la metodología usada para la recuperación de información relevante para el desarrollo de este proyecto, los métodos usados para estimar la demanda hídrica del cultivo y la forma en la cual la red de conducción fue diseñada.

Seguidamente, en la sección de resultados se presenta la información relevante que pudo ser recopilada, los resultados de la estimación de la demanda hídrica del cultivo y a su vez, la comparación de esta con el caudal disponible en la hacienda. Luego, los resultados del diseño hidráulico de la red de conducción y el presupuesto preliminar. Finalmente se presentan las conclusiones que resumen el presente documento y algunas recomendaciones a los actores quienes usarán este proyecto para su instalación y operación.

2. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño hidráulico de un sistema de conducción y distribución de agua para riego en Agrícola Himalaya, mediante simulación con EPANET con fines de optimización del uso del recurso hídrico.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar la demanda hídrica de 16 lotes de té en Agrícola Himalaya considerando su variación temporal y espacial.
- Simular las condiciones de funcionamiento hidráulico de las conducciones y red de distribución mediante el uso del software EPANET para estimar las características técnicas y diámetros internos de las tuberías.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. EL CULTIVO DE TÉ

Es un arbusto perenne que, en un ambiente silvestre puede alcanzar hasta 15 m, sin embargo, en cultivo esta altura es limitada hasta 1.5 m para facilitar la labor de cosecha manual. Este arbusto tiene una vida útil de hasta 100 años teniendo su pico de productividad entre los 30 y 60 años después de su siembra, no obstante, en zonas de gran altitud (como los cultivos de Agrícola Himalaya) puede tomar hasta 10 años para que su producción sea de alto valor (Bongiovanni, 2008; De Costa et al., 2007; Hajiboland, 2017).

El té es la segunda bebida (preparada a partir de las hojas tiernas) más consumida a nivel mundial, superada solamente por el agua. Se cultiva en aproximadamente 50 países, teniendo una producción anual de hasta 5.56 millones de toneladas métricas para el año 2014 (Hajiboland, 2017).

3.2. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

3.2.1. Taxonomía

Esta planta pertenece al género *Camellia*, el cual incluye al menos 82 especies, originarias de Asia. Sin embargo, no todas las especies de este género tienen las características para producir la bebida mundialmente conocida, es por esto por lo que la taxonomía juega un papel relevante en la diferenciación para su explotación. Pero, la taxonomía de este género ha significado un arduo trabajo dado la heterogeneidad de las características morfológicas, físicas y químicas de los varietales.

Con el tiempo algunas características morfológicas han permitido realizar clasificaciones generales como té de hojas oscuras y hojas claras o té de hojas aserradas o lisas. Dando como resultado a día de hoy el té conocido como *Camellia sinensis*, siendo las variedades más conocidas la *assamica* (India), de hojas largas y la variedad *sinensis* (China), de hojas pequeñas (Banerjee, 1992).

3.2.2. Clima

La eco-fisiología del té corresponde a países con lugares de clima fresco de condiciones tropicales, tales como Kenia, Malawi, Tanzania, Japón y China. Aunque, en la actualidad se encuentra cultivado en amplias regiones como el mediterráneo, en climas cálidos y trópicos húmedos siendo cultivado en altitudes desde 0 hasta 2200 m.s.n.m. (De Costa et al., 2007).

3.2.3. Temperatura

Este cultivo se desarrolla de manera óptima en rangos de 18°C y 25°C, siendo críticas para este cultivo temperaturas por debajo de 13°C y por encima de 30°C (Ahmed et al., 2018).

3.2.4. Suelo

Las condiciones de suelo en las cuales el té es cultivado a lo largo del mundo varían, sin embargo, una de las características más importantes para tener en cuenta es el pH del suelo. Siendo el pH requerido para este cultivo de 4.5 a 5.6, además de requerir suelos bien drenados, profundos, bien aireados y contenidos de materia orgánica al menos de 2%. Otros atributos que se deben tener relevancia en el cultivo son la pendiente del terreno, la estructura y textura del suelo (Hajiboland, 2017).

3.2.5. Densidad de siembra

La plantación de este cultivo se realiza mediante trazados de curvas de nivel y el sistema de siembra usado en la compañía es de tres bolillos, inicialmente con densidades promedio de 6900 plantas ha^{-1} , sin embargo, a partir de la recomendación de un experto la siembra y resiembra fue modificada con el fin de obtener plantaciones con 12000 árb. ha^{-1} . (Agrícola Himalaya S.A., 2017)

3.3. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL TÉ

En cuanto al requerimiento hídrico del té, el rango óptimo de precipitación anual es de 2500 mm a 3000 mm, sin embargo, se mencionan valores 1150 y 1400 mm como

mínimos para el desarrollo del cultivo y valores por debajo de 750 mm son perjudiciales (Han et al., 2018; Willson & Clifford, 1992). Las precipitaciones anuales históricas en la zona de cultivo se encuentran entre 1198 mm y 1215 mm, es decir, las mínimas para este cultivo.

No obstante, en cultivos de secano la distribución de la precipitación a lo largo del año es más importante que el valor el valor total anual de la misma (Hajiboland, 2017). El régimen de precipitaciones en la zona de estudio a lo largo del año se caracteriza por ser de tipo bimodal, presente en la mayor parte del Colombia. Dicho comportamiento se caracteriza por tener dos períodos de estiaje, en los cuales la humedad en el suelo es limitada y dos períodos de precipitación, en los cuales por el contrario este contenido de humedad es abundante.

En los períodos de estiaje, se podría presentar estrés hídrico por déficit, lo cual, eventualmente genera impactos negativos tanto en el crecimiento como en el rendimiento. De manera específica, en muchas regiones productoras de té, la fluctuación del rendimiento de producción ha sido relacionada con el nivel de humedad en el suelo y la aplicación de riego.

3.4. VARIABLES CLIMÁTICAS DE IMPORTANCIA EN EL TÉ

En Kenia, se encontró que las temperaturas del aire y suelo restringieron el rendimiento del cultivo. Asimismo, durante las temporadas secas se observaron efectos negativos sobre el rendimiento, causando una caída hasta del 30% en el rendimiento medio anual.

Un estudio sugiere que, ante condiciones hídricas adecuadas, los factores determinantes del rendimiento son la temperatura y el déficit de presión de vapor (VPD, en inglés). Sin embargo, en períodos secos, el rendimiento se ve disminuido por el potencial hídrico en las cosechas y se demuestra una gran respuesta al riego (De Costa et al., 2007).

Un análisis realizado en cuatro distritos de producción de té en Kenia tuvo el propósito de relacionar los rendimientos del té con la temperatura del aire, radiación solar, precipitación y el déficit hídrico del suelo. Dicho análisis de tipo histórico comprendió una base de datos de 60 años.

Como resultado se encontró que la variabilidad de la temperatura tuvo el mayor efecto sobre la productividad. Además, se encontró una gran correlación entre la temperatura, la radiación y la productividad cuando la humedad del suelo no es

limitante. Sin embargo, las temperaturas extremas, tanto bajas como altas, son una amenaza para el cultivo ya que pueden llegar a suprimir la producción.

También se concluye que la precipitación, y más importante aún, su distribución es fundamental para una producción sostenida. Además, con el cambio climático se espera que la distribución de la precipitación sea impredecible, por tanto se recomienda la implementación del riego (Cheserek et al., 2015).

Una revisión similar a la anterior se hizo en la región de Assam, India. Esta tuvo como propósito identificar la respuesta del rendimiento a la variabilidad climática y e inferir las variables climáticas más relevantes. En dicha revisión se recolectaron los datos de rendimiento de 82 jardines de té entre 2004 y 2013. Por su parte, las variables climatológicas usadas fueron temperatura y precipitación, aquellas fueron obtenidas del Departamento Meteorológico de India (IMD) y la Estimación de Precipitación a partir de Información de Teledetección usando Redes Neuronales Artificiales (PERSIANN) para el mismo período.

Como resultado se obtuvo que el rendimiento del té se vio afectado de manera negativa cuando la temperatura incrementa; cuantitativamente se tiene una relación de 1° por 3.8% de reducción en el rendimiento a partir de 28°C.

Por otro lado, se encuentra durante el inicio de la temporada de lluvias monzónicas un efecto positivo sobre el rendimiento en las brechas entre períodos lluviosos, sin embargo, un efecto negativo se encuentra ante la ocurrencia de eventos de precipitación intensa.

Por último, no se encuentran efectos significativos en el rendimiento debido a temporadas de sequía o deficiencia hídrica y se recomienda realizar más estudios en este ámbito (Duncan et al., 2016).

3.5. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO Y EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO

Por el carácter de este proyecto se hizo énfasis en la importancia del recurso hídrico e irrigación sobre el cultivo de té.

Como se mencionó anteriormente, el rango mínimo de precipitación anual en el cual el cultivo de té puede desarrollarse de manera adecuada es de 1150 a 1400 mm, no obstante, el rango óptimo es de 2500 – 3000 mm. Cuando la precipitación disponible no es adecuada, tanto en distribución temporal como en magnitud, para

suplir los requerimientos de transpiración del cultivo los rendimientos se verán reducidos o limitados (You et al., 2014).

En Kenia, por su parte, un estudio permitió concluir que el déficit hídrico es responsable de entre el 14% y 20% de reducción en el rendimiento y del 6% al 19% de la mortalidad de las plantas de té (Cheruiyot et al., 2008, como se citó en Hajiboland, 2017).

En contraste, un estudio realizado en Kenia encontró que la precipitación mensual no tiene una relación directa con el rendimiento de los cultivos de té. No obstante, permitió obtener dos conclusiones relevantes: la primera fue que las precipitaciones mensuales aumentaron significativamente la producción en los meses siguientes durante los primeros meses del año y por otro lado, la relación inversa entre la precipitación y el déficit del agua en el suelo (SWD, en inglés) (Cheserek et al., 2015).

Lo anterior tiene una justificación fisiológica, el contenido de humedad en el suelo influye en la tasa foliar fotosintética (limitación estomática), disminución de clorofila y carotenoides, difusión de nutrientes desde el suelo, disminución de hormonas de crecimiento y respuesta a estrés, ajuste osmótico, contenido de carbohidratos y generación de Especies Reactivas de Oxígeno (ROS, ej.; radicales libres) (Han et al., 2018). De este modo se da a entender que el contenido de humedad es un parámetro que no sólo afecta el rendimiento másico sino también la calidad del producto terminado (De Costa et al., 2007).

3.5.1. El riego y su importancia

Las plantas extraen agua del suelo para su actividad vital y aproximadamente el 90% de esta cantidad es transmitida hacia la atmósfera. Este fenómeno, llamado transpiración, se debe principalmente al gradiente de presión entre las hojas y el ambiente que las rodea. La transpiración, combinada con la evaporación desde el suelo resulta en el fenómeno conocido como evapotranspiración.

Desde el punto de vista de la agricultura, la forma en la cual la evapotranspiración es incluida en los análisis hídricos es a través de la evapotranspiración de referencia (**ET_o**). Esta es, “la tasa de evapotranspiración desde una superficie extensa cubierta por pasto verde de altura uniforme entre 8 y 15 cm que crece de forma normal, cubre completamente el suelo con su sombra y no carece de agua”(Te Chow et al., 1993). Esta variable se expresa generalmente en mm d⁻¹.

La ET_0 puede ser medida a través de tanques, lisímetros o estudios de humedad, o puede ser calculada por diferentes métodos. El método elegido dependerá del nivel de exactitud requerida y la cantidad de información climatológica disponible. En la actualidad, la metodología más ampliamente aceptada es la de FAO Penman-Monteith (Allen et al., 2006; Gurovich, 1985).

De manera conceptual, la reposición de la evapotranspiración se realiza de manera natural a través de la precipitación (siendo de importancia en la agricultura la precipitación efectiva). Cuando la precipitación es mayor que la evapotranspiración en un período determinado se dice que hay un superávit hídrico, por el contrario, cuando la precipitación es menor que la evapotranspiración se presenta un déficit hídrico. Como consecuencia, con la finalidad de evitar efectos negativos que provoca el último escenario se genera la necesidad de suplir artificialmente el déficit hídrico, lo cual se realiza a través de los sistemas de riego. Las características de los sistemas de riego se rigen a través del contraste entre la oferta y demanda hídrica mencionada, entre muchos otros factores. (Gurovich, 1985; Te Chow et al., 1993).

Los beneficios cualitativos de los sistemas de riego, específicamente en el cultivo del té, a través del tiempo han sido plenamente evidenciados, consecuentemente, los países productores de té se han dado la tarea de determinar cuantitativamente estos beneficios mediante diversos estudios. A continuación, se mencionan algunos estudios que evidencian proporcionalmente los efectos de los sistemas de riego en el cultivo de té.

En la región sur de Tanzania se realizó un estudio en el que se buscó analizar la respuesta del rendimiento del té ante la aplicación de riego. En dicho estudio se aplicó riego a distintos niveles de déficit hídrico, logrando así duplicar el rendimiento total anual y equilibrar su distribución a lo largo del año (Carr, 1974).

En Irán, se realizó una investigación en 100 campos experimentales de té, en la cual se evaluó la relación entre los nutrientes primarios (Nitrógeno, Fósforo y Potasio), distintas fuentes de nitrógeno, riego y el rendimiento del cultivo. Para todas las parcelas experimentales y sus repeticiones siempre se obtuvo un mayor rendimiento en aquellos que se aplicó riego. Adicionalmente se observó que el efecto dado por el riego sobre el rendimiento fue más significativo que el dado por la fertilización (Salardini, 1978).

Otro estudio fue realizado en dos localizaciones de cultivos de té con manejos independientes, uno en el sur de Tanzania y otro en Malawi. En los dos experimentos se realizó riego por aspersión cuando el cultivo se encontraba en un

nivel de déficit hídrico específico, a fin de mantener el rendimiento durante las temporadas secas. En aquel, durante las temporadas secas de tres años determinados la aplicación de riego tuvo un efecto incremental sobre el rendimiento del cultivo, esto, para los dos localizaciones (Carr et al., 1987).

En Malawi se llevó a cabo un estudio con un clon de té sensible al déficit hídrico, en el cual se encontró que la aplicación del 100% del déficit hídrico mediante riego hizo posible un incremento en el rendimiento del 20% comparado con aquellos que no tuvieron riego (Mkwaila & Grice, como se citó en Stephens & Carr, 1991).

De manera similar, en la región sur de Tanzania también se estudió la respuesta de una variedad de té (Clon 6/8) al riego y fertilización durante un período de 3 años (1986 - 1989). En dichos países la temporada de invierno comprende entre los meses de noviembre y mayo del año siguiente y la temporada de sequía se presenta en los meses siguientes hasta noviembre. Por lo anterior, el ensayo se puso en marcha durante la temporada de sequía, donde se escogió como criterio de aplicación de riego la presencia de un déficit hídrico en el suelo de 50 mm.

En este estudio se obtuvo para los tres años una significativa relación lineal o ligeramente curvilínea, mostrando reducciones en el rendimiento con el aumento del déficit hídrico del suelo durante la temporada seca (Stephens & Carr, 1991).

Por otro lado, este mismo estudio llevado a cabo en otra ubicación, Mufindi, Tanzania, obtuvo que la aplicación de riego sobre un cultivo de té (con aplicación adecuada de fertilización) permitió lograr un incremento de 68% en el rendimiento (Stephens & Carr, 1991).

En Tanzania, para una variedad específica de té se obtuvo un rendimiento de 5650 kg/ha⁻¹, el cual, fue superior hasta en un 90% comparado con los rendimientos más altos de los mejores estados comerciales productores de té en ese país (Burgess & Carr, 1997).

En Tanzania, se encontró que los brotes recolectados en el inicio de la temporada lluviosa fueron 8 veces más grandes que las recolectadas en el final de la temporada seca. Adicionalmente, con el uso de riego se obtuvo un 45% de incremento en la cosecha recolectada en la temporada seca y se menciona que por cada mm de incremento en el déficit hídrico del suelo (SWD) el rendimiento se disminuirá en 2.9 kg/ha (Stephens & Carr, 1991, 1993). Posteriormente, se evidenció que bajo condiciones de estrés hídrico las plantas más jóvenes son mayormente afectadas, alcanzando una caída en su rendimiento de hasta 22 kg ha⁻¹ mm⁻¹, casi 3 veces más que las plantas maduras (Nixon et al., 2001).

Por otro lado, los reportes anuales dados por la división agronómica del Instituto de Investigación en Té de Sri Lanka (2001 y 2002) evidenciaron un aumento en el rendimiento entre 50% y 100% con el uso de riego por goteo y la respuesta del cultivo al riego podría llegar a ser del 300% en temporadas secas (De Costa et al., 2007).

En Tanzania, se evaluó la implementación de riego por goteo en 55 hectáreas de té, que, adicionalmente fue usado para fertirrigación. Se encontró que el sistema de riego por goteo brindaría rentabilidad desde el punto de vista económico si el rendimiento del cultivo fuera de al menos 411 kg ha⁻¹. Aunque su implementación resultó costosa debido a los procesos de compra e instalación se observó una reducción en los costos en las labores de aplicación de agua y fertilizante.

En este estudio, se recomendó realizar las curvas de respuesta de té al agua y al fertilizante bajo riego por goteo, esto permitiría la determinación de recomendaciones óptimas de fertilizantes y su distribución temporal. También se mencionó que se hace necesario evaluar la viabilidad de estos sistemas a pequeña escala para pequeños agricultores realizando un análisis integral económico y sociocultural mediante transferencia tecnológica (Möller & Weatherhead, 2007).

Asimismo, otro estudio en Tanzania mediante la aplicación adecuada de agua (50% del SWD) obtuvo un rendimiento superior en aproximadamente 16% con relación a aquellos que tuvieron menos disponibilidad de agua (aprox. 12.5% del SWD)(Kigalu et al., 2008).

Un estudio realizado en la provincia de Fujian, China, tuvo como propósito analizar la interacción entre la frecuencia de riego, potencial hídrico de la planta, materia seca, composición química y otras variables fisiológicas en un cultivo de té. En dicho estudio se tuvieron tratamientos con riego que iban desde los 5 días hasta 25 días de frecuencia de aplicación además de un tratamiento control sin riego.

Respecto al potencial hídrico de la planta, se obtuvo un decrecimiento a medida que la frecuencia de riego aumentó, similar a la materia seca, que también tuvo este comportamiento. Con relación al tratamiento control la materia seca obtenida en los tratamientos con mayor frecuencia (5, 10 y 15 días) fue mayor en 32.8%, 29.1% y 21.3% respectivamente. (Chen et al., 2010).

Todo lo anterior permite evidenciar la importancia que tiene la correcta aplicación de riego y sus beneficios tanto a corto como largo plazo, es por esto por lo que los productores agrícolas deben tener en cuenta este comportamiento para asegurar su sostenibilidad a futuro.

3.6. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TÉ

Por otro lado, el cambio climático traerá consigo temperaturas más altas y variables, precipitación con mayor intensidad y de frecuencia incierta, períodos más prolongados de sequía y lluvia, fenómenos climatológicos extremos de mayor magnitud (por ejemplo: ciclones, inundaciones, tormentas de granizo y sequías), se aumentarían pérdidas por evapotranspiración, se reducirían los niveles de humedad en el suelo, se acrecentarían los niveles de salinidad en los suelos, se propiciaría la aparición de malezas, plagas y enfermedades.

Un estudio en Sri Lanka analizó la vulnerabilidad del té ante los posibles efectos del cambio climático. Para este país los efectos esperados fueron: aumento en la temperatura (3 a 4°C), incrementos en la duración de las temporadas secas y húmedas por año y precipitaciones intensas y de desigual distribución. La metodología usada fue un análisis de regresión lineal entre los datos de rendimiento, temperatura, déficit hídrico del suelo y la presión de vapor.

De este estudio se concluye que Sri Lanka es un país con alta vulnerabilidad, ya que se espera que los efectos del cambio climático tengan mayor dimensión en las zonas de baja altitud, y aún más cuando la mayor parte de los cultivos en este país se encuentran en dichas zonas. Además, esta vulnerabilidad es agravada por el desconocimiento de estos efectos.

Por último, se recomienda: el uso de clones resistentes a sequías, pestes y enfermedades, implementación y mejoramiento de medidas de conservación del suelo, manejo de sombrero y el uso de policultivos (Wijeratne, 1996).

Posteriormente, también en Sri Lanka, se tuvo el objetivo de evaluar los impactos de la variabilidad climática a corto, mediano y largo plazo sobre la producción de té en 40 cultivos diferentes en el período de 2000-2014. Las variables climáticas usadas fueron temperatura promedio mensual, precipitación total mensual y número total de días húmedos en el mes y fueron obtenidas del Departamento de Meteorología de Sri Lanka y los datos de producción fueron recolectados de reportes mensuales de cada cultivo.

Luego, con base en los escenarios de predicción del cambio climático dados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Sistema Integrado Regional de Alerta Temprana de Riesgos Múltiples para África y Asia (RIMES) se obtuvo las predicciones climáticas para tres temporalidades: corto (2026-2035), mediano (2046-2055) y largo plazo (2081-2090).

De este modo, al analizar estadísticamente todas las variables se logró explicar en un 62% la variabilidad de la producción. Además, para un mes determinado la temperatura promedio tuvo efectos positivos significativos pero las temperaturas promedio de meses previos no. Por el contrario, la precipitación de un mes determinado produjo efectos negativos importantes sobre la producción de té en ese mismo mes, sin embargo, las precipitaciones previas a un mes determinado produjeron efectos positivos altamente significativos sobre la producción de dicho mes. De acuerdo con las conclusiones, esto era de esperar, ya que las producciones actuales provienen de brotes desarrollados bajo condiciones agroeconómicas de 45 a 60 días previos a la cosecha.

Por su parte, los resultados de la predicción del impacto del cambio climático a largo plazo indicaron que: 1.) por cada grado centígrado de incremento en la temperatura media (°C) la producción podría verse afectada negativamente en un 4.6%, 2.) por cada 100 mm de incremento en la precipitación media anual la producción podría verse reducida en 1% y por último, 3.) la adición de un día húmedo por mes podría causar el incremento de 3.5% en la producción (este último efecto también podría ser inverso). Los últimos dos resultados no son excluyentes, debido a que el último se refiere a la mejor distribución de la precipitación en el mes.

El anterior estudio permitió concluir que los efectos negativos del cambio climático para esta nación son considerables. Lo anterior debido a que este cultivo es un gran generador de empleo y al verse afectado tendría un gran impacto negativo social y económico (Gunathilaka et al., 2017).

Un análisis en India tuvo el propósito de evaluar la influencia de la variabilidad climática sobre el rendimiento de cultivos pertenecientes a tres zonas de cultivo de té en el sur del país (SITR). Las variables climáticas fueron obtenidas del Instituto de Investigación UPASI (UPASI TRF) y el Departamento Meteorológico de India (IMD). Los datos de producción de té fueron obtenidos a partir de diferentes reportes, publicaciones y circulares tanto anuales como mensuales y fueron contrastados estadísticamente con los primeros.

De este modo, la variabilidad climática explicó aproximadamente 84.8% de la variabilidad anual del rendimiento. Además, se identificó que la variabilidad de temperatura es más relevante sobre el rendimiento que la precipitación. Por último, se instó por determinar políticas de mercado, estrategias de adaptación y prácticas de manejo efectivo que minimicen los efectos potenciales del cambio climático (Raj et al., 2019).

Teniendo como premisa la vulnerabilidad y los posibles impactos que tendrá el cambio climático sobre la agricultura a nivel mundial, se deberá instar al sector agrícola a formular, implementar y evaluar estrategias de adaptación ante tal fenómeno (Ocampo, 2011). Estas estrategias pueden ir desde cambios en las temporadas de siembra y cosecha hasta algunas de mayor complejidad y costo, como por ejemplo: mejoramiento genético de variedades, técnicas de no labranza – agricultura de conservación (NL-AC), facilidad de acceso a créditos y seguros agrícolas y la promoción de la implementación y mejoramiento de sistemas de irrigación (López Feldman & Hernández Cortés, 2016).

Si bien, según las proyecciones de precipitación a nivel global aumentarían, esta no se distribuiría uniformemente. Por ejemplo, zonas tropicales como Asia Meridional y el norte de Suramérica (en donde se encuentra Colombia) tenderían a presentar menor cantidad de precipitación que antes (FAO, 2004, 2016).

Colombia y sus agricultores – con el apoyo de las entidades y políticas públicas – deberán procurar la inversión en la adaptación al cambio climático. Si bien, los costos de adaptación son significativamente altos se ha estimado que por cada dólar que se invierta en mecanismos de adaptación y gestión de riesgos previos eventos de desastre en países en desarrollo se podrían prevenir pérdidas por hasta US\$7 (Naciones Unidas, 2010).

4. METODOLOGÍA

4.1. LOCALIZACIÓN

El municipio de La Cumbre se ubica en el noroccidente del Valle del Cauca, sobre la vertiente Occidental de la cordillera Occidental. Se ubica a los 3°39'11" de latitud norte y a los 76°34'04" de longitud oeste. Al norte limita con el municipio de Restrepo, al sur con Yumbo, Dagua y Cali, al oriente con Yumbo y Vijes y al occidente con Dagua. En la [Tabla 1](#) se mencionan los datos geográficos y climáticos del municipio.

Tabla 1. *Características geográficas y climáticas del municipio de La Cumbre.*

Altitud (m.s.n.m.)	700 – 2200
Temperatura Media (°C)	18 – 25
Precipitación media anual (mm)	1100
Humedad Relativa (%)	79 – 83
Evaporación media mensual (mm)	35.5 – 50.5
Ríos principales	Aguacatal, Bitaco, Río Grande, Mozambique, Pavas y Romerito.
Fallas geológicas	Dagua, Calima y Roldanillo.

Fuente: Datos geográficos e hidroclimáticos del municipio de La Cumbre, por CIAT & CVC, 2016.

Este municipio comprende un área total aproximada de 222.17 km², los cuales se dividen en 7 corregimientos. El corregimiento de Bitaco se ubica en el extremo sur del municipio y comprende un área de 2856 ha, es decir, un 12.86% del área total. A su vez, el corregimiento de Bitaco se encuentra dividido en 11 veredas entre las cuales se encuentra Chicoral (CIAT & CVC, 2016). Esta vereda se encuentra en el extremo sur del corregimiento y es aquella donde se ubica la Hacienda Himalaya (ver [Figura 1](#)), la zona donde se realizará el diseño.

La Hacienda Himalaya -en donde se encuentra la plantación de té- cuenta con aproximadamente 210 hectáreas, las cuales se distribuyen de la siguiente manera: 55 ha de plantaciones con edades desde 5 años hasta 60 años, 10 ha con áreas de siembras nuevas establecidas en los últimos 3 años, 35 ha que en la actualidad posee uso pecuario y es proyectada para siembras nuevas de té con una tasa anual de 5 ha y por últimos las 110 hectáreas restantes corresponden a la Reserva Natural Agrícola Himalaya (ver [Figura 2](#)).

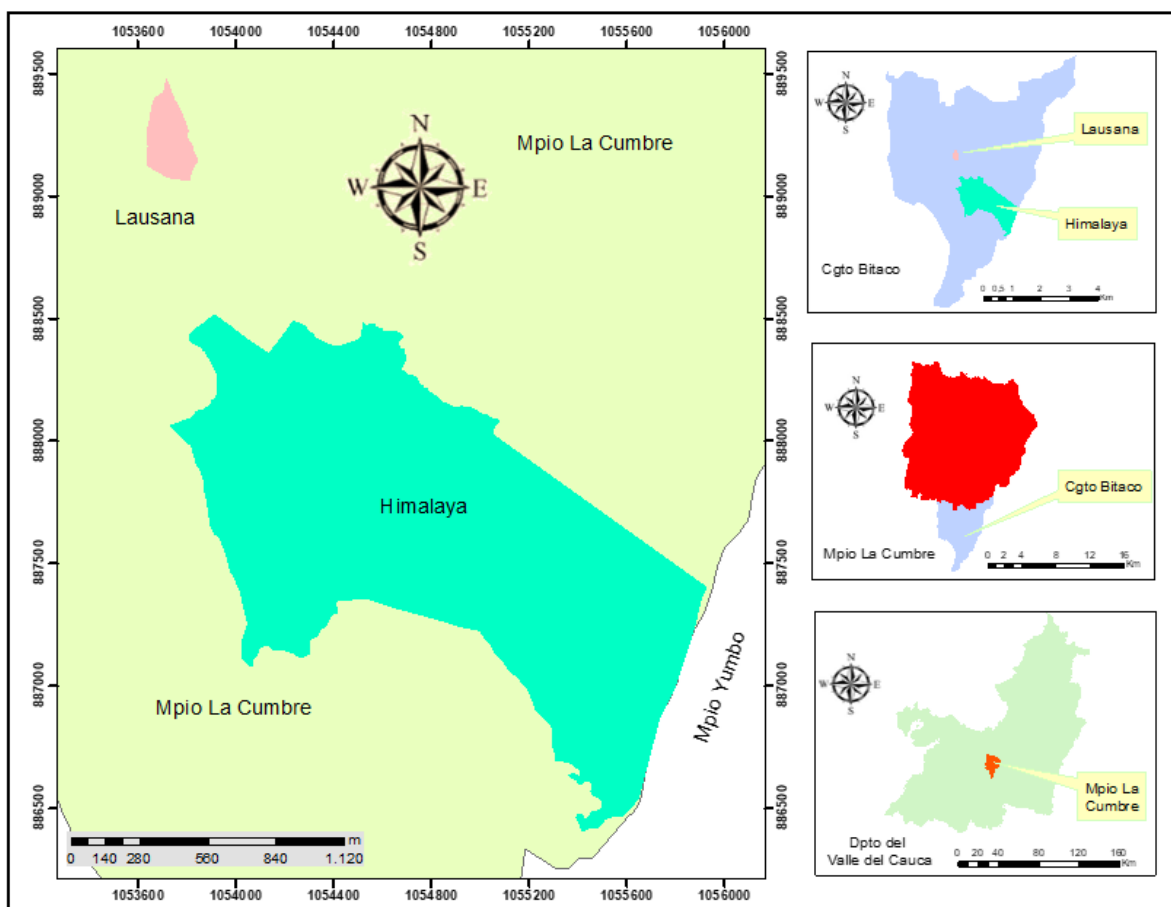


Figura 1. Mapas de localización Hacienda Himalaya.

Fuente: Localización Haciendas Himalaya y Lausana (p. 6), (Agrícola Himalaya S.A., 2018).

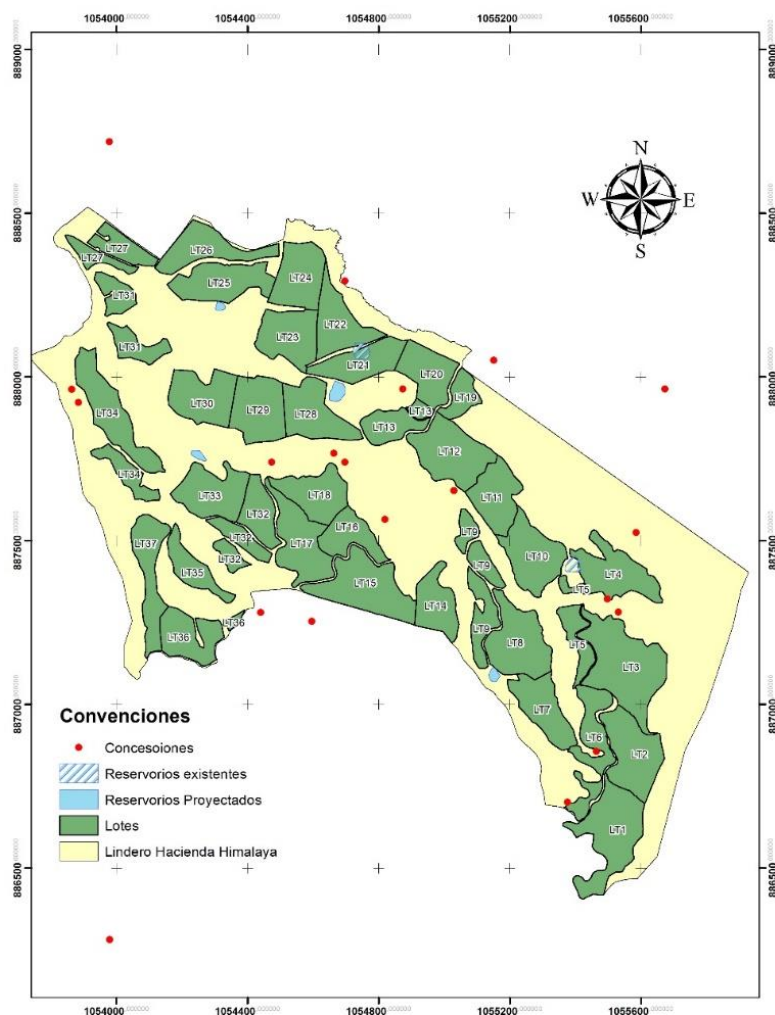


Figura 2. Concesiones, lotes y reservorios en la Hacienda Himalaya.

4.2. DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS PREVIOS Y ACTUALES DE RIEGO

La empresa Agrícola Himalaya, a lo largo del tiempo ha ido realizando instalaciones de redes hidráulicas de conducción de aguas. Dichas redes han sido instaladas con criterios empíricos por parte de los colaboradores afiliados a la misma, teniendo como resultado redes con materiales, resistencia, diámetro y longitud inadecuados y probablemente funcionando fuera de su rango óptimo.

Con base en lo anterior, se realizó una recopilación de información bibliográfica y geográfica de estas redes de acuerdo información dispuesta por la empresa y sus colaboradores. Se logró de esta manera construir una base de datos geográfica en

la cual se representaron las redes existentes, siendo de ayuda para establecer los nuevos trayectos.

4.2.1. Captaciones

La empresa Agrícola Himalaya posee una serie de concesiones adjudicadas por CVC, tal como se muestra en la [Figura 2](#). Dichas captaciones tienen diferentes uso y caudal útil varía a lo largo del año, por tanto, en este proyecto se realizó una revisión documental de este aspecto. Posterior a dicha revisión se procedió, de acuerdo con su ubicación geográfica, a determinar su uso potencial en cada reservorio.

4.2.2. Infraestructura de almacenamiento

A su vez, se realizó una revisión de todos los reservorios existentes en cuanto a sus capacidades volumétricas e hidráulicas, en donde se incluyeron los reservorios que serán construidos próximamente. Al finalizar esta esta revisión se seleccionaron los reservorios que presentaron uso potencial sobre las zonas comprendidas en este proyecto.

4.2.3. Sistemas de conducción

Es relevante mencionar que el marco de este proyecto comprendió redes de conducción con dos finalidades, una de conducción desde concesiones hasta reservorios y la otra, desde reservorios hasta puntos de entrega en diferentes zonas de cultivo.

De acuerdo con lo anterior, se revisaron las características de las redes de conducción instaladas en la Hacienda Himalaya, que se vieron enmarcadas en la zona de influencia de este proyecto, haciendo énfasis en su diámetro, longitud, estructuras de control de presión y caudal y ruta, determinando de esta manera su viabilidad hidráulica. Aquellas rutas que se consideraron viables fueron consideradas como base para el diseño de este proyecto. Por otro lado, aquellas fueron determinadas inviables fueron estructuradas por diferentes rutas a las instaladas en la Hacienda.

4.3. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA

Con la finalidad de conocer la cantidad de agua que requiere el cultivo se realizó el proceso de cálculo de la demanda hídrica, esto se realizó contrastando variables como la evapotranspiración de referencia (ET_0) y la precipitación efectiva (P_E) bajo un escenario de probabilidad de excedencia. A continuación, se presentan los conceptos y ecuaciones implementadas.

4.3.1. Requerimiento Hídrico del Cultivo

El proceso de cálculo inició con la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_0); a pesar de que esta variable pudo ser calculada se optó por consultar los datos medidos tanto por las tres estaciones de medición de evapotranspiración existentes como también por la estación climatológica automática instalada en la zona alta de la hacienda.

Posteriormente es necesario calcular la **evapotranspiración del cultivo (ET_c)** bajo condiciones fitosanitarias, nutricionales, hídricas y de producción adecuadas. Este es obtenido a partir de la multiplicación entre la ET_c y el **coeficiente del cultivo (K_c)**.

$$ET_c = K_c \cdot ET_0$$

El coeficiente del cultivo es un factor que depende principalmente del tipo de cultivo y su etapa de crecimiento. Este factor ya se encuentra establecido por la FAO para la mayoría de los cultivos de referencia.

4.3.2. Necesidades de Riego Netas

Una vez se tiene la evapotranspiración del cultivo se procede a calcular la necesidad de riego neta, la cual es dada mediante la ecuación:

$$NR_N = ET_c - P_E$$

Donde P_E es la precipitación efectiva (mensual) de la zona y se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones establecidas por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos):

$$P_E = P * \frac{(125-0.2*P)}{125} \text{ para } P < 250 \text{ mm/mes}$$

$$P_E = 125 + 0.1 * P \text{ para } P > 250 \text{ mm/mes}$$

4.3.3. Eficiencia del Proyecto

La eficiencia del proyecto (E_P) se refiere a la eficiencia general de conducción de una red hidráulica, se obtiene a partir del producto entre las eficiencias de conducción (E_C), distribución (E_D) y aplicación (E_A) y son expresados en formas porcentuales. Las eficiencias de conducción y distribución para este proyecto serán determinadas de acuerdo con el material de instalación recomendado y la eficiencia de aplicación dependerá del tipo de riego usado en las zonas de cultivo.

$$E_P = E_C * E_D * E_A$$

4.3.4. Necesidades de Riego Totales

Posteriormente se calculan las necesidades de riego totales, las cuales están determinadas por el cociente entre las necesidades de riego netas y la eficiencia del proyecto:

$$NR_T = \frac{NR_N}{E_P}$$

4.3.5. Caudal Demandado en Flujo Continuo

Con base en el área de cultivo (A , en ha) y las necesidades de riego totales (NR_T) se determina el caudal en flujo continuo para el sistema:

$$Q_{fc} = \frac{10000}{86400} * NR_T * A$$

Finalmente, haciendo uso de caudal total ofertado por las concesiones se realizó una comparación con el objetivo de concluir si las necesidades hídricas del cultivo serían suplidas por el caudal ofertado o se ratificaría la necesidad del almacenamiento de agua para suplir un déficit en las temporadas de estiaje.

4.4. DISEÑO PREDIAL DE LAS REDES DE CONDUCCIÓN

Una vez se realizó la recopilación de datos se obtuvieron: los caudales requeridos por cada lote (es decir, caudales de diseño) y la distribución geográfica de los puntos de entrega de estas redes sobre dichos lotes. Estos caudales y puntos de entrega corresponderán a los determinados por los diseños de riego existentes en la hacienda. Por otro lado, para las zonas que no presenten diseños, los caudales y puntos de entrega fueron establecidos por la Superintendencia de Hacienda de la empresa.

Posteriormente, en compañía del Superintendente de Hacienda, se procedió a realizar un trazado preliminar de las redes de conducción sobre la cartografía de la hacienda. Este trazado se realizó buscando rutas con la menor longitud, mayor eficiencia hidráulica y practicidad en su futura instalación.

Seguidamente, se realizó el levantamiento topográfico del trazado preliminar, de esta manera se obtuvo un primer replanteo de la ruta de acuerdo con las condiciones del terreno en campo.

Finalmente, con el levantamiento topográfico y los caudales de diseño para las redes de conducción se realizó la simulación hidráulica a través del software EPANET.

4.5. SIMULACIÓN DE LA RED HIDRÁULICA EN EPANET

EPANET es un software computacional libre que realiza simulaciones de período extendido del comportamiento hidráulico y de calidad del agua dentro de redes de tubería presurizadas. Por tanto, la información resultante del anterior ítem fue importada al software libre EPANET para su modelación hidráulica.

En dicho software se procedió a señalar los distintos puntos de captación, almacenamiento y entrega, asimismo, las tuberías que conectan dichos puntos con sus respectivas longitudes. La red fue modelada de acuerdo con distintos escenarios, los cuales dependieron del caudal requerido (con base en las zonas a regar) y el reservorio desde el cual se dispone dicho caudal.

Teniendo en cuenta los escenarios mencionados anteriormente, se realizaron dos tipos de modelación para cada red, la primera fue ejecutada bajo **presión estática**, en la cual los puntos de entrega no poseían caudal demandado, es decir, las válvulas de salida se encontraban cerradas conteniendo el agua en el interior de las tuberías sin ningún tipo de flujo, esto permitió conocer la presión máxima a la cual

serán sometidas las mismas, a su vez determinó el RDE de cada tramo y la localización de las estructuras de control de presión necesarias en el sistema. Seguidamente se realizó la modelación bajo **presión dinámica**, en la cual, las válvulas de salida se encontraban abiertas y el sistema se encuentra en funcionamiento, este escenario permitió conocer las velocidades en el interior de cada tramo de tubería y así, modificarlos de acuerdo con los rangos óptimos y requeridos.

A continuación, se presentan los datos de entrada, criterios de diseño y datos de salida inmersos en la modelación de EPANET.

4.5.1. Datos de entrada

- **Nodos o conexiones:** estos representan puntos de interés como cambios determinantes en la topografía y puntos de entrega. Debido a lo anterior, para todos los nodos se requieren como datos de entrada sus altitudes y en caso de ser puntos de entrega el caudal demandado.
- **Tuberías:** para las líneas de conducción se tienen como datos de entrada: nodos de inicio y fin, longitud, diámetro, estado y coeficiente de rugosidad (que depende del tipo de material). Así mismo se tendrán en cuenta los coeficientes de rozamiento correspondientes a los accesorios requeridos en las líneas (Universidad Politécnica de Valencia, 2006).

4.5.2. Criterios de diseño

- **Velocidad:** la velocidad del flujo en el interior de las tuberías se debe encontrar en el rango de 0.5 m s^{-1} a 3 m s^{-1} . Lo anterior debido a que velocidades muy bajas provocarán acumulación de sedimentos en puntos bajos de la tubería, además de corresponder a grandes diámetros y, por tanto, más costosos. Por otro lado, con el aumento de la velocidad se generan mayores pérdidas de presión, así como también mayor desgaste y susceptibilidad de avería de los componentes de la red. Cuando se tienen tuberías plásticas, por ejemplo PVC, de gran diámetro la velocidad máxima permisible puede ser hasta 5 m s^{-1} (Mott, 2006; OPS & CEPIS, 2004).
- **Presiones en punto de entrega:** se tuvo que garantizar las presiones dinámicas preestablecidas por los diseños hidráulicos de los sistemas de

riego correspondientes a las zonas de cultivo en las que influye el punto de suministro. Lo anterior permitió que los sistemas de riego funcionen bajo sus condiciones óptimas de diseño.

- **Caudales en puntos de demanda o entrega:** las redes debieron suministrar de manera adecuada los rangos de caudales requeridos por los sistemas de riego en las distintas zonas de cultivo. Estos caudales son suministrados por el diseñador en la programación de riego.

4.5.3. Datos de Salida

- **Nodos:** los resultados de importancia para los nodos fueron las presiones (tanto estáticas como dinámicas) y alturas piezométricas.
- **Tuberías:** las variables a obtener de las tuberías fueron los caudales, velocidad y pérdidas por fricción a lo largo de la red.

4.6. COSTEO PRELIMINAR

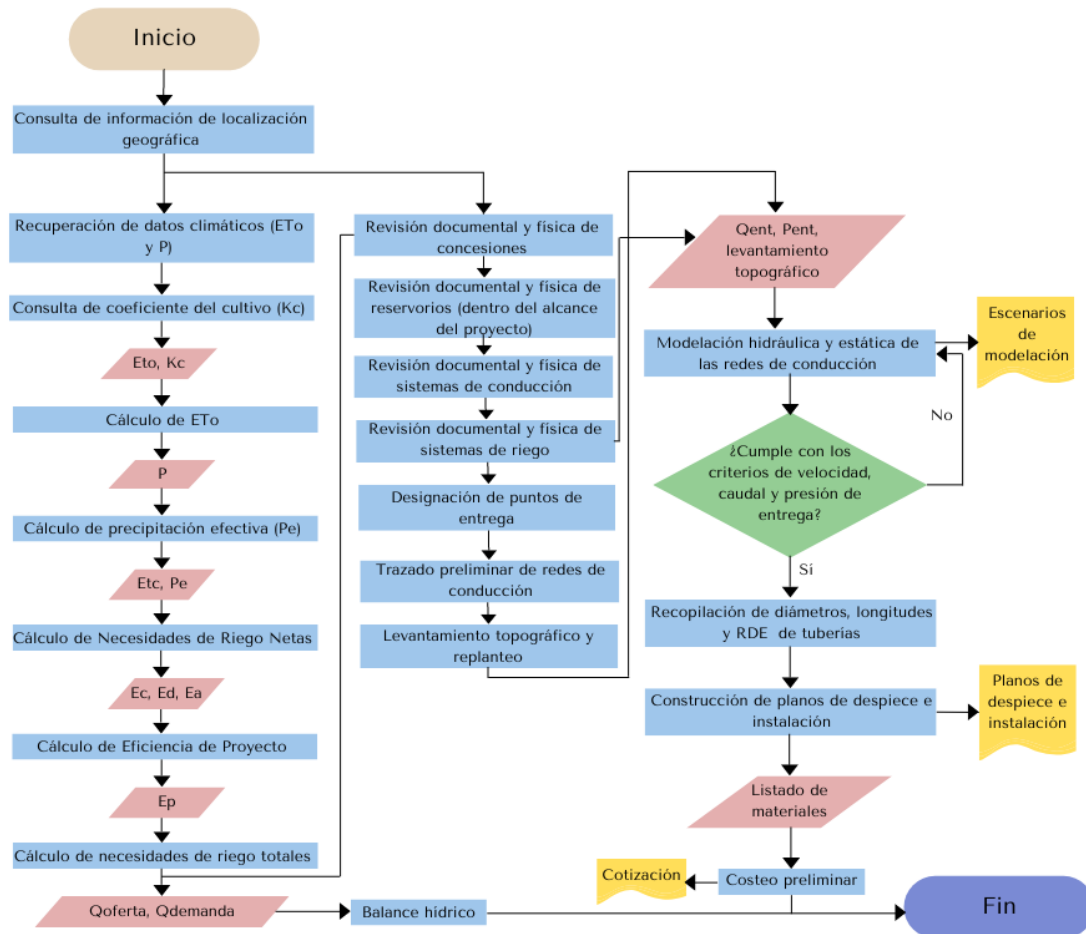
Al finalizar la modelación de las redes de conducción, cumpliendo con los criterios técnicos de diseño (presión y velocidades), puntos de entrega, se obtuvieron los listados con las cantidades totales de tuberías clasificados de acuerdo con el diámetro y RDE. Los accesorios, como válvulas, curvas, válvulas ventosas fueron establecidos mediante distintos mecanismos dentro del software EPANET e indicados dentro del diseño, de esta manera fueron cuantificados.

Este listado permitió realizar un listado por sistema, de esta manera en las conducciones de tomas a reservorios se construyeron 6 listados de materiales y agrupados posteriormente en un listado general para su cotización. Por otro lado, para los listados de reservorios hacia puntos de entrega se realizaron tres listados: el primero desde el reservorio Casa Piedra hacia los puntos de entrega en su zona de influencia directa, el segundo desde el reservorio La Iglesia hacia los puntos de entrega en su zona respectiva de influencia y, por último, los materiales de la red de conexión de las redes anteriores, de igual manera estos fueron agrupados de manera general para su posterior cotización.

Una vez se construyeron los listados de materiales se procedió a consultar diferentes listados de precios otorgados por empresas proveedoras de estos materiales, de esta manera se obtuvo un presupuesto preliminar que fue usado para

el prepuesto de inversión de la empresa en los cinco años próximos. Los procesos mencionados en esta sección se evidencian mediante el siguiente diagrama de flujo.

Figura 3. Metodología representada mediante diagrama de flujo.



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS PREVIOS Y ACTUALES DE RIEGO

En esta etapa de diagnóstico de los sistemas preestablecidos de conducción y distribución se realizó una exhaustiva revisión documental tanto física como electrónica de este componente. Adicionalmente se involucró a todo el personal de la compañía relacionado con el recurso hídrico, siendo estas el Superintendente de Hacienda, el área administrativa de gestión ambiental, operadores del área de Campo, de esta manera se obtuvo información que no estaba plasmada en la documentación.

Como resultado de dicha revisión se adquirió información relevante como diseños de sistemas de riego con sus respectivos planos y manuales de operación, datos climatológicos, planos topográficos, bases de datos geográficos en medio magnético y uno de los más relevantes, el Programa del Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA), realizado por la empresa ATA (Adecuación de Tierras Agropecuarias). En los siguientes ítems se presentan los resultados obtenidos en esta fase.

5.1.1. Captaciones

Dado que este aspecto es competencia del área de Gestión Ambiental de Agrícola Himalaya, esta brindó la información respectiva. En la Hacienda Himalaya se encuentran 20 concesiones distribuidas a lo largo de la Hacienda Himalaya (ver [Figura 2](#)), con un caudal total adjudicado de 10,7 lps, estas son relacionadas en la [Tabla 2](#) con sus correspondientes resoluciones y caudales adjudicados.

Tabla 2. Concesiones otorgadas de CVC a Agrícola Himalaya.

Sitio	Nombre	Este	Norte	Resolución	Qc lps
1	Lausana – Herradura	1054909	888014	253 de 2014	1,0
2	Santa Ana 2 - Pot Callos	1054907	886280	77 de 2011	1,0
3	Q.da Guaca - Tanque Agua	1054917	888009	595 de 2014	0,1
4	Santa Ana 1 – Establo	1054913	886274	77 de 2011	1,0
5	Q.da Madrid - Guacas Arriba	1054921	888007	595 de 2014	0,3
6	Río Bitaco - Diablo 1	1054917	886277	92 de 2008	1,0
7	Nacimiento Lago Grande Lote 13	1054921	886281	94 de 2006	0,1
8	Q.da el Silencio - Diablo 2	1054921	886277	92 de 2008	0,2
9	Q.da El Farol	1054919	886270	94 de 2006	1,7
10	Iglesia 2 - Lote 16	1054923	886274	77 de 2011	1,0
11	Iglesia 1 - Lote 12	1056746	886276	77 de 2011	1,0
12	Q.da Madrid - Abajo Tanque Nacimiento	1056762	886267	411 de 2011	0,12
13	Q.da Iglesia Casa Lago	1056750	886264	595 de 2014	2,0
14	La Nevera	1056753	886270	93 de 2006	0,03
15	Nacimiento Casa Piedra	1056755	886274	94 de 2006	0,2
16	Iglesia - Nacimiento Lote 6	1056753	886263	595 de 2014	0,01
19	Bocatoma El Silencio	76°34'35"	3°34'58"	412 de 2011	0,06
20	Bocatoma El Rincón	76°35'15"	3°34'36"	413 de 2011	0,04

Fuente: Datos de concesiones (p. 5), (Agrícola Himalaya S.A., 2018).

De acuerdo con la última revisión realizada a las concesiones enlistadas solamente 12 cuentan con captaciones construidas en concreto, aunque algunas de aquellas cuentan con estructuras de captación, remoción de partículas (desarenador) y derivación y otras sólo cuentan con estructuras artesanales de captación y remoción de partículas. Además, dos de aquellas se encuentran en desuso por pérdida en la conducción o su área de influencia se encuentra improductiva. Finalmente, concesiones como El Rincón o el Silencio no cuentan con estructuras de captación.

De acuerdo con la distribución geográfica de las concesiones mostrada la [Figura 2](#) se seleccionaron las tomas que estuvieran alineadas con el objetivo y alcance de este proyecto, aquellas fueron: La Nevera, Nacimiento Casa Piedra, Bocatoma El Silencio e Iglesia – Nacimiento Lote 6.

5.1.2. Infraestructura de almacenamiento

Actualmente. en la Hacienda Himalaya se cuenta con 4 estructuras de almacenamiento de propósito agropecuario, estos reservorios son llamados: La

Iglesia, Lago 13, Lago Establo y Lago Bambú, siendo de principal importancia y enmarcado en el alcance de este proyecto el reservorio La Iglesia.

Por otra parte, de acuerdo con el balance de oferta y demanda hídrica del PUEAA la empresa decidió establecer como meta realizar el diseño e instalación de dos reservorios para suplir la necesidad hídrica del cultivo, uno de ellos sería ubicado en la zona alta de la hacienda, en el sector llamado Casa Piedra y el otro se ubicaría en la zona media de la hacienda (llamado Guacas), tal como se muestra en la [Figura 4](#):

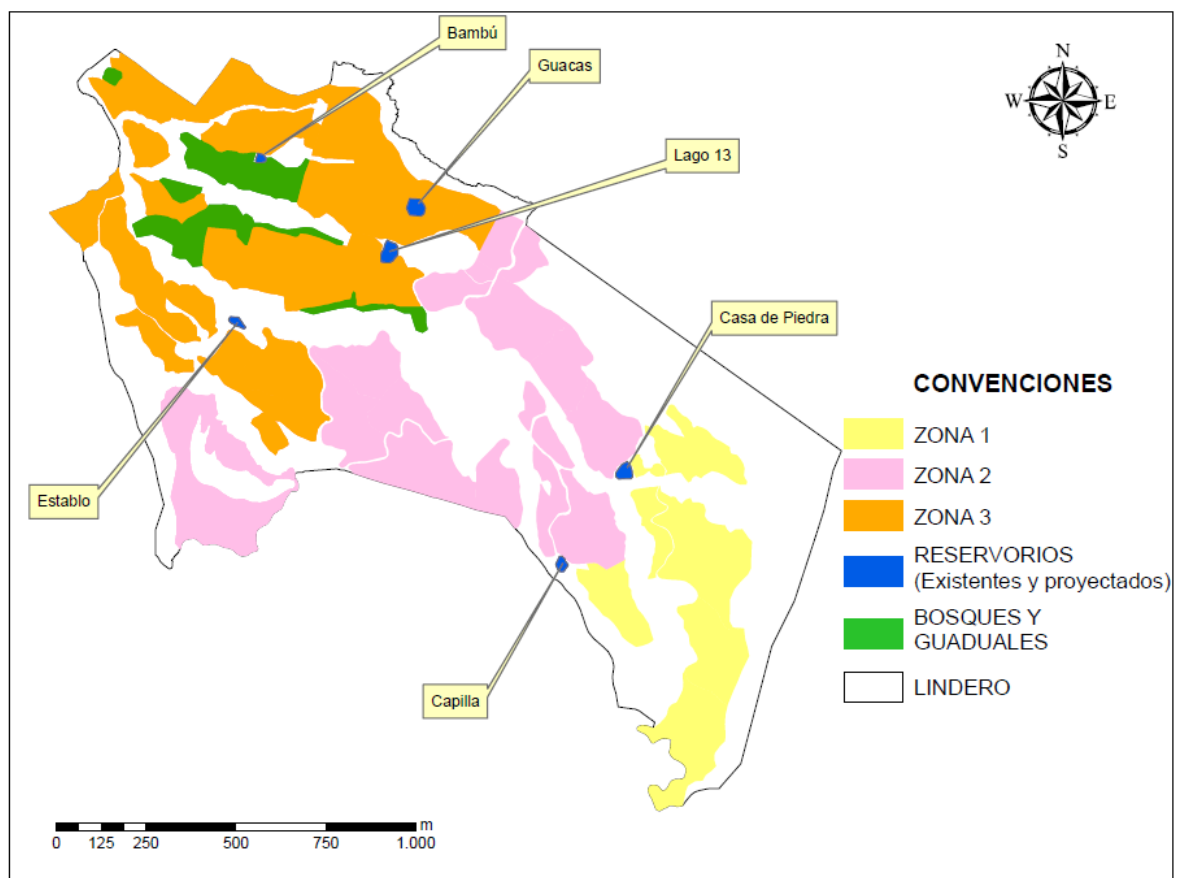


Figura 4. Distribución geográfica de los reservorios actuales y proyectados.

Fuente: Localización aproximada nuevos reservorios (p. 59) (ADECUACIÓN DE TIERRAS AGROPECUARIAS, 2018)

Con base en el alcance del presente proyecto se definieron como puntos de interés los reservorios La Iglesia (o Capilla) y Casa Piedra.

5.1.2.1. Reservoirio La Iglesia

Este reservorio se encuentra ubicada en la zona alta de la hacienda como se evidencia en la [Figura 4](#). En cuanto a sus características, tiene una superficie de espejo de agua de 870 m², una profundidad de 4 metros, cota aproximada de 1953 m.s.n.m. y aproximadamente 2800 m³, dos ductos de fondo y un vertedero rectangular. Sin embargo, se proyectó realizar un mantenimiento y ajuste en la capacidad de este, con la finalidad de alcanzar los 4000 m³.



Figura 5. Estado del reservorio La Iglesia.

5.1.2.2. Reservoirio Casa Piedra

Por otra parte, esta estructura es un reservorio proyectado para construcción que tiene el objetivo de albergar aproximadamente 6400 m³, teniendo una cota aproximada de 1950 m.s.n.m. y se ubicaría en la zona alta como se observa en la [Figura 4](#).

Una vez se realizó el diagnóstico tanto de las concesiones y reservorios, además de haber definido las que se encuentran enmarcadas en el alcance del proyecto se relacionaron, con base a sus características geográficas y de altitud, las concesiones potenciales para cada reservorio tal como se muestra en la [Tabla 3](#):

Tabla 3. Relación potencial de concesiones y reservorios enmarcadas en el proyecto.

Reservorio	Estado	Concesiones más potenciales	Concesiones menos potenciales
Casa Piedra	Proyectado	La Nevera	Quebrada Iglesia Casa Lago
		Nacimiento Casa Piedra	
		Iglesia - Nacimiento Lote 6	
		Bocatoma El Silencio	
La Iglesia	Existente	Quebrada Iglesia Casa Lago	Quebrada Madrid - Abajo Tanque Nacimiento
		Iglesia – Nacimiento Lote 6	La Nevera
			Nacimiento Casa Piedra
			Bocatoma El Silencio

Fuente: Asignación concesiones y reservorios (p. 60) (ADECUACIÓN DE TIERRAS AGROPECUARIAS, 2018)

5.1.3. Sistemas de conducción

La compañía, en el marco de estudio del PUEAA, elaboró un análisis de demanda hídrica, por tanto, previamente se habían diagnosticado todas las redes de conducción y distribución existentes en la Hacienda Himalaya. Las características de las redes existentes se muestran en la [Tabla 4](#).

Tabla 4. Características de redes existentes en la Hacienda.

Sistema	Denominación	Diámetro	Cámara o almacenamiento	Hidrantes módulos
1	Bocatoma Capilla	½"	No	2
2	Bocatoma Lote 3 Capilla	¾"	Tanque PE	2
3	Bocatoma 1 Iglesia Lago 13	2"	Cámara	4
4	Salidas Lago 13	2", y 1"		
5	Salida Lago Bambú	2"		
5	Bocatoma Las Guacas – Bambú	2"		
6	Bocatoma Lote 16	2"		
7	Bocatoma Establo	2"		
8	Salidas Lago Establo	2"		

9	Bocatoma La Nevera	2"	Tanque PE, Tanque C	
10	Bocatoma Casa Piedra	½"	Tanque PE	
11	Bocatoma El Farol	2"		
12	Bocatoma Fertilización Establo	1"		1
13	Riego Goteo 15	3", 2"		7

Fuente: Asignación concesiones y reservorios (p. 36) (ADECUACIÓN DE TIERRAS AGROPECUARIAS, 2018)

Mayormente las conducciones fueron construidas en manguera de polietileno reciclado, con diámetros entre ½" y 2". Algunas de estas tuberías de conducción cuentan con válvulas ventosas, válvulas metálicas de cortina o de bola, hidrantes y cámaras de quiebre de presión. Sin embargo, también fueron evidenciadas algunas prácticas artesanales sobre las tuberías como tubería expuesta al aire libre, agujeros para control de aire, reparación de cortes con neumático. que han conducido a su deterioro, Además, la variación irregular de diámetro en algunas conducciones, que puede incurrir en el funcionamiento hidráulico incorrecto de aquellas redes.

5.2. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA

5.2.1. Requerimiento hídrico del cultivo

Como se mencionó anteriormente, en la Hacienda Himalaya se encontraban establecidas tres estaciones manuales de monitoreo climatológico, incluidas la precipitación y evaporación, adicionalmente, en los últimos años se realizaron mediciones mediante una estación climatológica automática. Por tanto, se procedió a recuperar los datos multianuales de evapotranspiración potencial (ET_0) y posteriormente se realizó un análisis de probabilidad de excedencia, mediante el método Weibull, como se muestra en la [Figura 6](#).

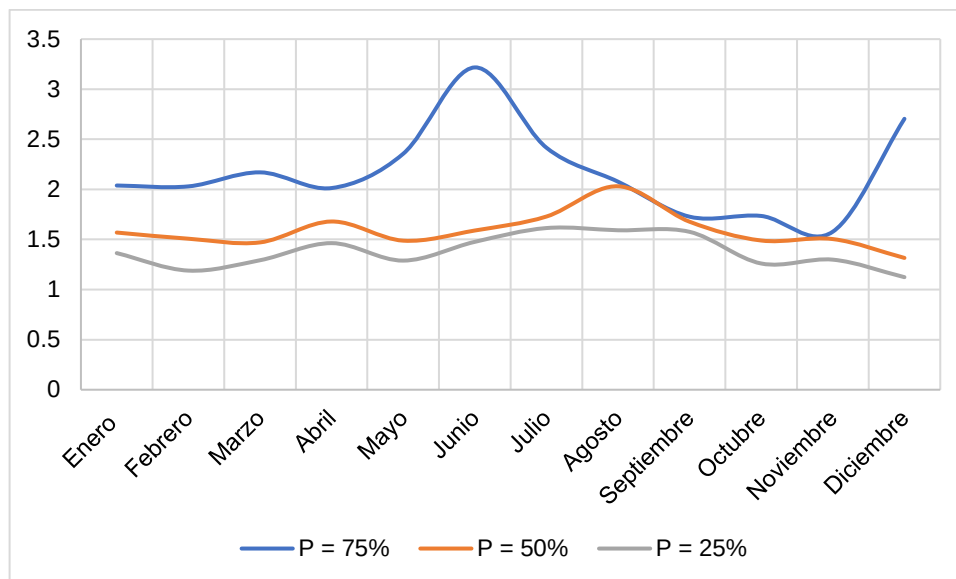


Figura 6. Curvas de evapotranspiración (ET_0) con probabilidad tipo Weibull.

Basándose en la anterior figura se decidió realizar el proceso de cálculo con los valores correspondientes al 50% de probabilidad de excedencia.

Posteriormente, se realizó la consulta del coeficiente de cultivo (K_c) de acuerdo con la metodología descrita por FAO, el cual, para cultivos de té sin sombrero en etapas iniciales es de 0.95 y 1.00 para cultivos de edad media. Dado que el área que se encuentra en el marco del proyecto en su mayoría se encuentra en su etapa media se seleccionó el correspondiente, 1.00. Seguidamente se calculó la evapotranspiración del cultivo mediante el producto entre el coeficiente del cultivo (K_c) y la evapotranspiración de referencia (ET_0) y, debido a que el análisis se realizó en un periodo base mensual se multiplicó cada promedio diario con la cantidad de días correspondiente a cada mes, obteniendo los datos de la [Figura 7](#).

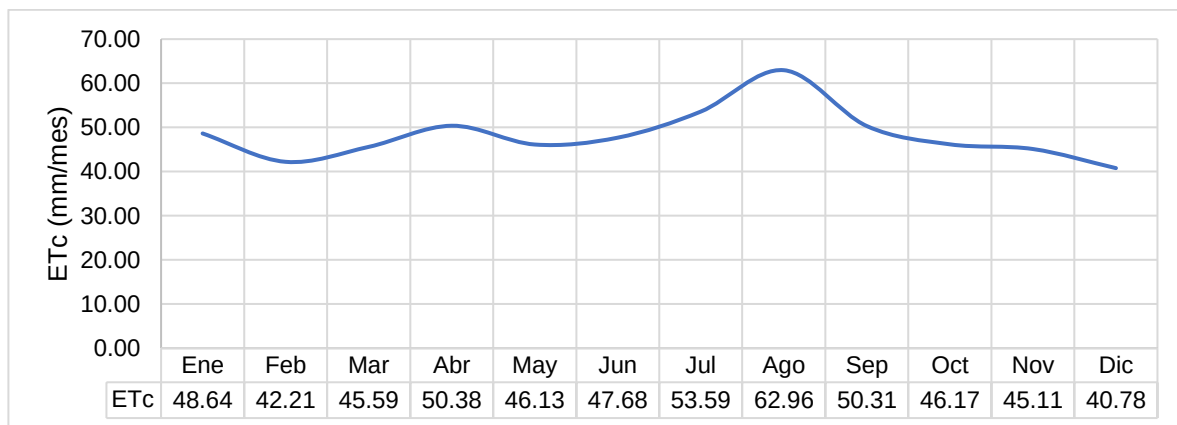


Figura 7. Evapotranspiración mensual del cultivo.

5.2.2. Necesidades de riego netas

Al igual que con la evapotranspiración se recurrió a los datos de precipitación recuperados por las estaciones, se procedió a realizar un proceso de selección mediante la probabilidad de excedencia tipo Weibull, en el cual se eligió el escenario de probabilidad de 61.5%, el cual fue usado en la metodología del PUEAA, los datos son mostrados en la [Figura 8](#).

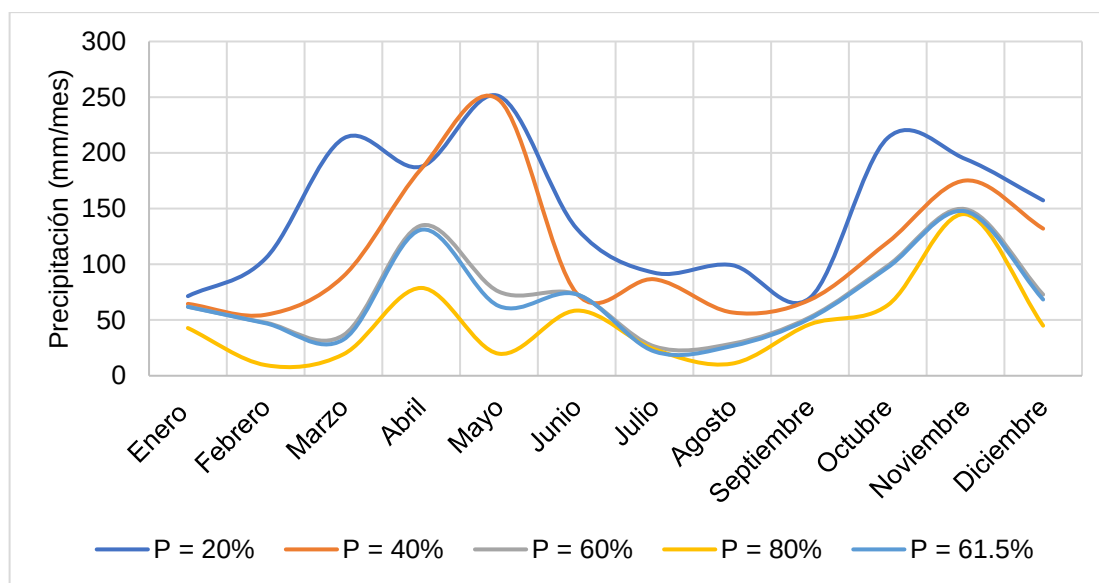


Figura 8. Precipitación mensual con probabilidad de excedencia tipo Weibull.

Una vez se tuvieron estos datos se procedió a calcular la precipitación efectiva mensual mediante el método USDA, los resultados se evidencian en la [Figura 9](#).

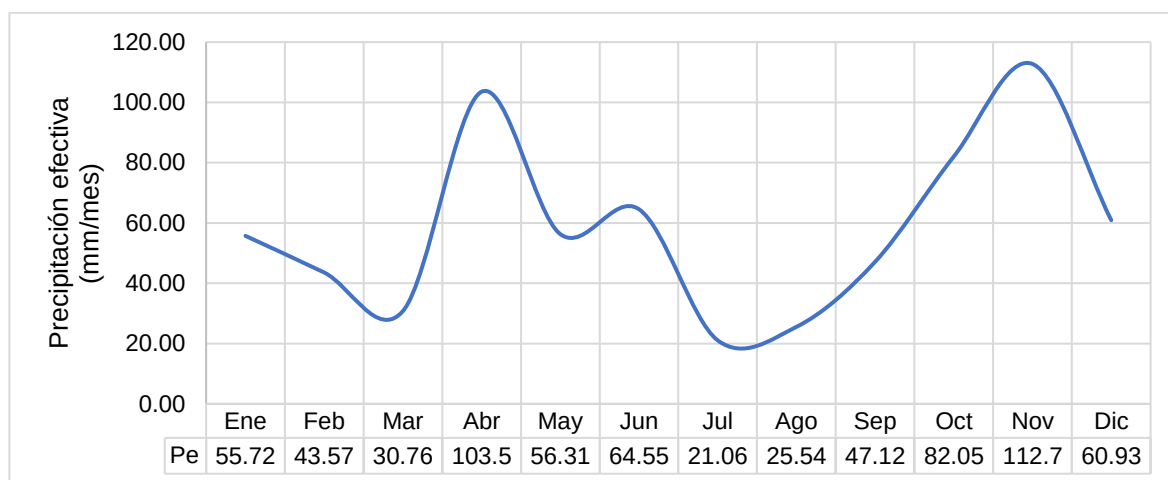


Figura 9. Precipitación efectiva mensual.

Posteriormente se realizó la sustracción entre los requerimientos hídricos (ET_c) previamente calculados y la precipitación efectiva anterior, obteniendo así las Necesidades de Riego Netas (NR_N) mostradas en la [Figura 10](#).

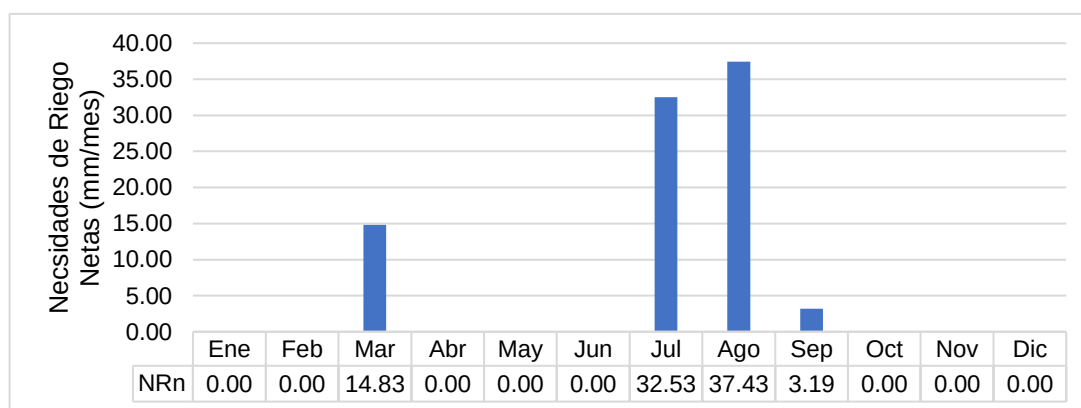


Figura 10. Necesidades de Riego Netas del cultivo.

De la anterior figura, se concluye que de acuerdo con las mediciones tomadas por las estaciones y bajo los escenarios de probabilidad mencionados el cultivo requerirá aporte de humedad mediante riego en los meses de marzo, julio, agosto y septiembre. En los demás meses el requerimiento hídrico del cultivo será suplido por las precipitaciones.

5.2.3. Eficiencia del proyecto

Dado que esta eficiencia está compuesta por las eficiencias de conducción (E_c), distribución (E_D) y aplicación (E_A), se tomó en cuenta los materiales de la red de conducción para definir las dos primeras y el tipo de aplicación para la tercera. Teniendo en cuenta que las tuberías de conducción son de polietileno y PVC unidas de manera técnica se seleccionó una eficiencia de 98.5%, por otro lado, dado que el tipo de riego proyectado es riego localizado de alta frecuencia se escogió una eficiencia de aplicación de 90%. Finalmente, como resultado se obtuvo una eficiencia del proyecto de 85%.

5.2.4. Necesidades de riego totales

Posteriormente, al afectar los valores de necesidades de riego netas con el valor de la eficiencia del proyecto se obtienen las necesidades de riego totales, siendo estas las mostradas en la [Figura 11](#):

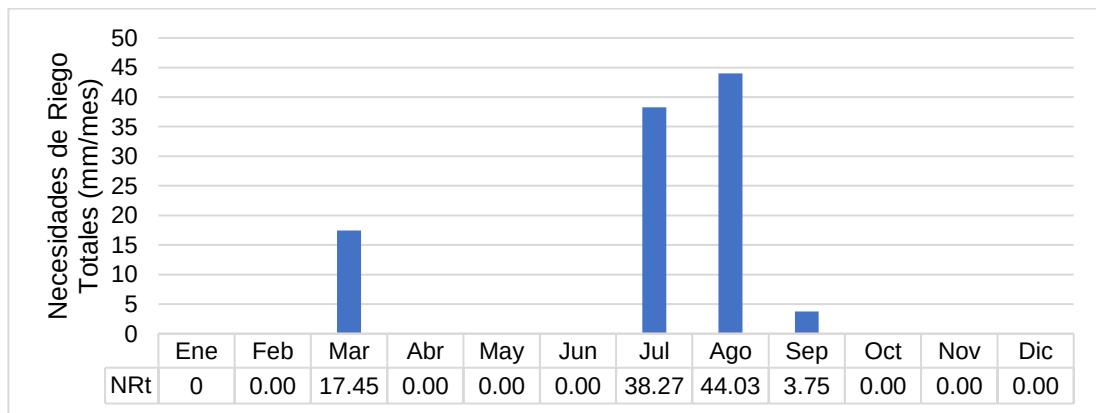


Figura 11. Necesidades de riego totales del cultivo.

5.2.5. Caudal demandado en flujo continuo.

Finalmente se calculó el caudal en flujo continuo requerido mensualmente por cultivo, en esta se debe considerar que la zona alta del cultivo no fue tomada en cuenta para este análisis debido a que las concesiones no logran cumplir su requerimiento (por diferencia de niveles) y además, por lineamiento de la empresa se emprendió un estudio en el cual se cuantificará el aporte en la humedad del suelo

por parte de las neblina, que se presenta durante gran parte del día aun incluso en temporadas cálidas. De este modo el área tenida en cuenta fue de las zonas media, baja, aromáticas y las zonas nuevas, que sumaron un total de 84.94 ha.

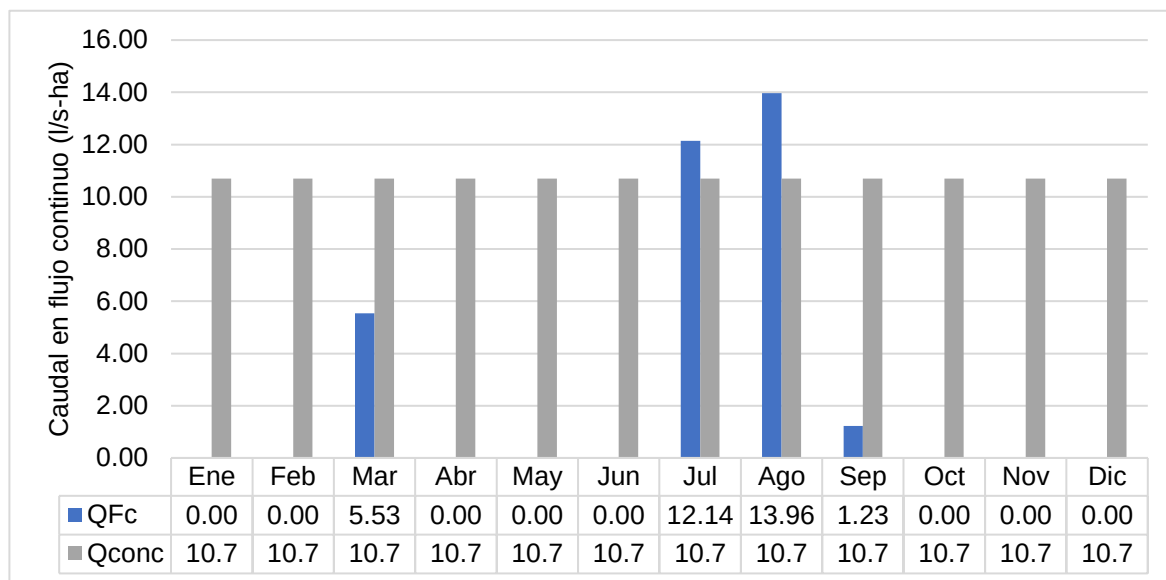


Figura 12. Caudal en flujo continuo y caudal concesionado en la Hacienda.

En la [Figura 12](#) se presentan los resultados comparativos entre los caudales en flujo continuo (demandado) y el caudal concesionado, en el cual se evidenció que en los meses de septiembre y marzo la necesidad puede ser suplida con el caudal concesionado, sin embargo, en los meses de julio y agosto este se ve superado por las necesidades del cultivo y ratifica la necesidad de la implementación de estructuras de almacenamiento.

5.3. DISEÑO PREDIAL DE REDES DE CONDUCCIÓN

Para realizar el diseño predial se requirió conocer los caudales y presiones requeridos tanto en las zonas de entrega de las redes de conducción desde concesiones hasta reservorios como también en las zonas de entrega sobre el cultivo.

En primer lugar, en conjunto con el área de ambiental se procedió a investigar los caudales máximos medidos en las concesiones y se seleccionaron los caudales máximos los cuales someterían la red a las presiones y velocidades máximas. De

esta manera, para la red de conducción hacia el reservorio Casa Piedra se trabajó con 0.998 l/s y 1.4 l/s para las concesiones de Nacimiento Casa Piedra y La Nevera respectivamente, adicionalmente se agregaron 0.1 l/s a dos residencias dependientes de estas concesiones. Por otra parte, en la red de conducción hacia el reservorio de La Iglesia se usó un caudal máximo de 0.7 lps.

Posteriormente, para las conducciones desde los reservorios se recurrió a la búsqueda de sistemas de riego diseñados previamente para el cultivo con el fin de determinar los caudales con los que el sistema debía cumplir en los puntos de entrega y asimismo la localización de estos.

De dicha búsqueda resultaron tres diseños de sistemas de riego para el cultivo. El primero fue diseñado por la compañía de irrigación IRRIDELCO para lotes de la zona media de la hacienda (16, 17 y 18), este sistema no fue instalado. El segundo fue un sistema diseñado e instalado por ETAGRO en los lotes ubicados en la zona media (14 y 15), este sistema comprendió como fuente de agua el reservorio La Iglesia, mencionado anteriormente, además de poseer sistemas de filtrado, fertirriego y 8 módulos de riego por goteo. Las características geométricas e hidráulicas de este sistema se presentan en la [Tabla 5](#).

Tabla 5. Requerimientos hidráulicos de sistema de riego diseñado e instalado por ETAGRO.

Válvula	Área	Caudal		Presión de operación	Diámetro Válvula
		m ³ /h	LPS		
1	5930	10.8	3.0	10	2
2	6490	11.8	3.3	14	2
3	3625	6.6	1.8	16	2
4	5800	10.5	2.9	16	2
5	6500	11.8	3.3	16	2
6	7400	13.5	3.7	16	2
7	5200	9.5	2.6	16	2
8	9100	16.5	4.6	16	2

Fuente: Características generales sectores de riego (p. 5) (ETAGRO, 2015)

Este sistema fue puesto en funcionamiento durante unos meses, sin embargo, por cambios administrativos y deterioro en la infraestructura física, debido a las labores culturales propias del cultivo, este sistema quedó inactivo.

Por último, el tercer diseño encontrado fue el sistema de riego por goteo para el sector llamado El Rincón (7 ha), el cual, fue diseñado inicialmente por ALVECA SAS. Este diseño comprendió un sistema de filtrado robusto, 15 módulos de riego

con línea de goteo con goteros auto-compensados y válvulas de quiebre de presión debido a la topografía del terreno. El cronograma de funcionamiento y sus características hidráulicas se presentan en la [Tabla 6](#).

Tabla 6. Requerimientos hidráulicos del sistema de riego diseñado por ALVECA S.A.S.

Día	Turno	Módulo	Caudal (lps)	Volumen (m³)	Hora inicio	Hora fin
1	1	9 – 15	9.69	61	7 am	8:45
	2	8 – 14	9.22	58	9 am	10:45
	3	7 – 13	8.69	55	11 am	12:45
	4	6 – 12	7.66	48	1 pm	2:25
2	5	5 – 11	10.03	63	7 am	8:45
	6	4 – 10	9.15	58	9 am	10:45
	7	1 – 2	10.47	66	11 am	12:45
	8	3	4.96	31	1 pm	2:25

Fuente: Cronograma de riego (p. 26) (ALVECA S.A.S, 2018)

De este modo, con base en los diseños encontrados se decidió tener como caudales base los máximos encontrados en los dos últimos diseños, es decir 4.6 lps y 10.47 lps y también se tuvo en cuenta el requerimiento máximo de presión de estos, el cual fue de 41.09 m.c.a (58.36 psi), este fue extraído de las memorias de cálculo de sistema de riego diseñado por ALVECA SAS. Por otra parte, el área de Superintendencia de Hacienda definió la localización de 8 puntos de entrega a lo largo del cultivo con base en sus necesidades actuales y futuras.

De esta manera se realizó el trazado de redes de conducción desde tomas hacia los reservorios potenciales y actuales y desde reservorios hacia puntos de entrega. El trazado preliminar fue soportado en las curvas de nivel disponibles. El resultado de este trazado preliminar es presentado en la [Figura 13](#):



Figura 13. Trazado preliminar de redes de conducción en la Hacienda Himalaya.

Una vez se tuvieron las rutas establecidas se procedió a realizar el levantamiento topográfico de las rutas que se encontraban dentro del alcance del proyecto. Cabe mencionar que cada ruta fue replanteada en tramos cortos de acuerdo con las limitantes encontradas en el terreno (pendiente, obstáculos inamovibles, etc.). A continuación, se presentan los resultados de las rutas replanteadas y levantadas mediante topografía, en la [Figura 14](#) las correspondientes a las redes desde concesiones hasta reservorios y en la [Figura 15](#) las respectivas a las redes desde reservorios hacia puntos de entrega sectoriales.

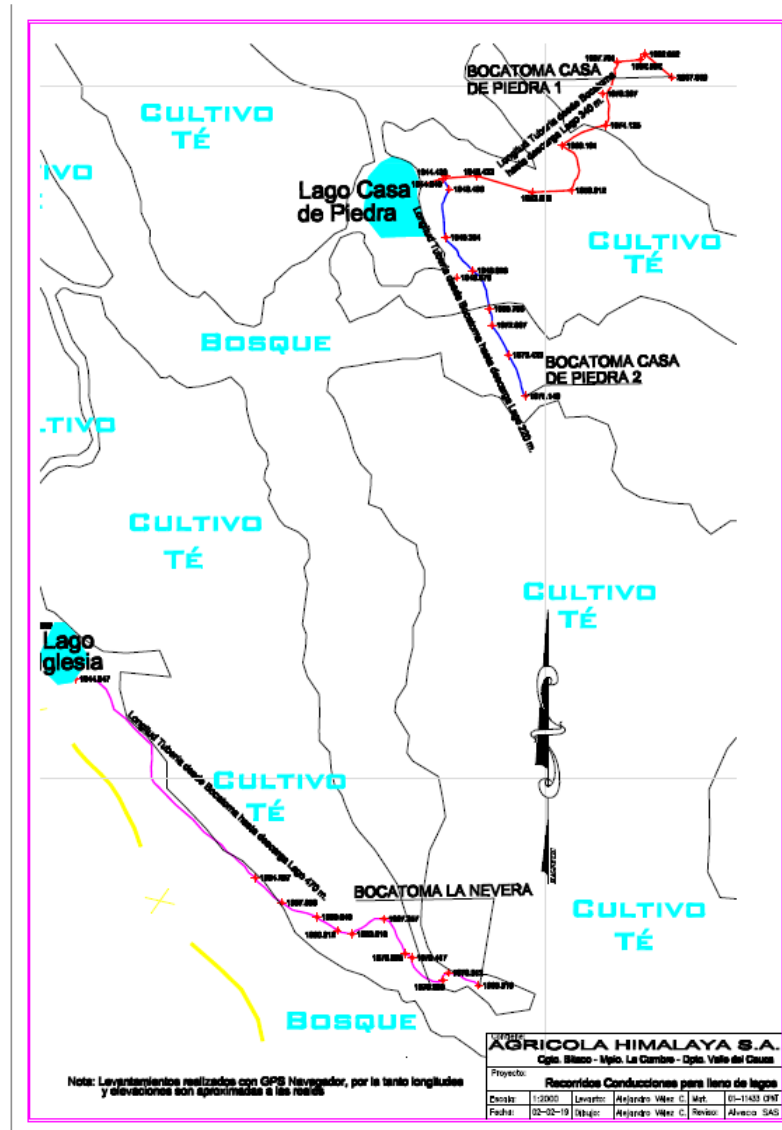


Figura 14. Plano topográfico de rutas de conducción de tomas hacia reservorios en la zona alta de la Hacienda.

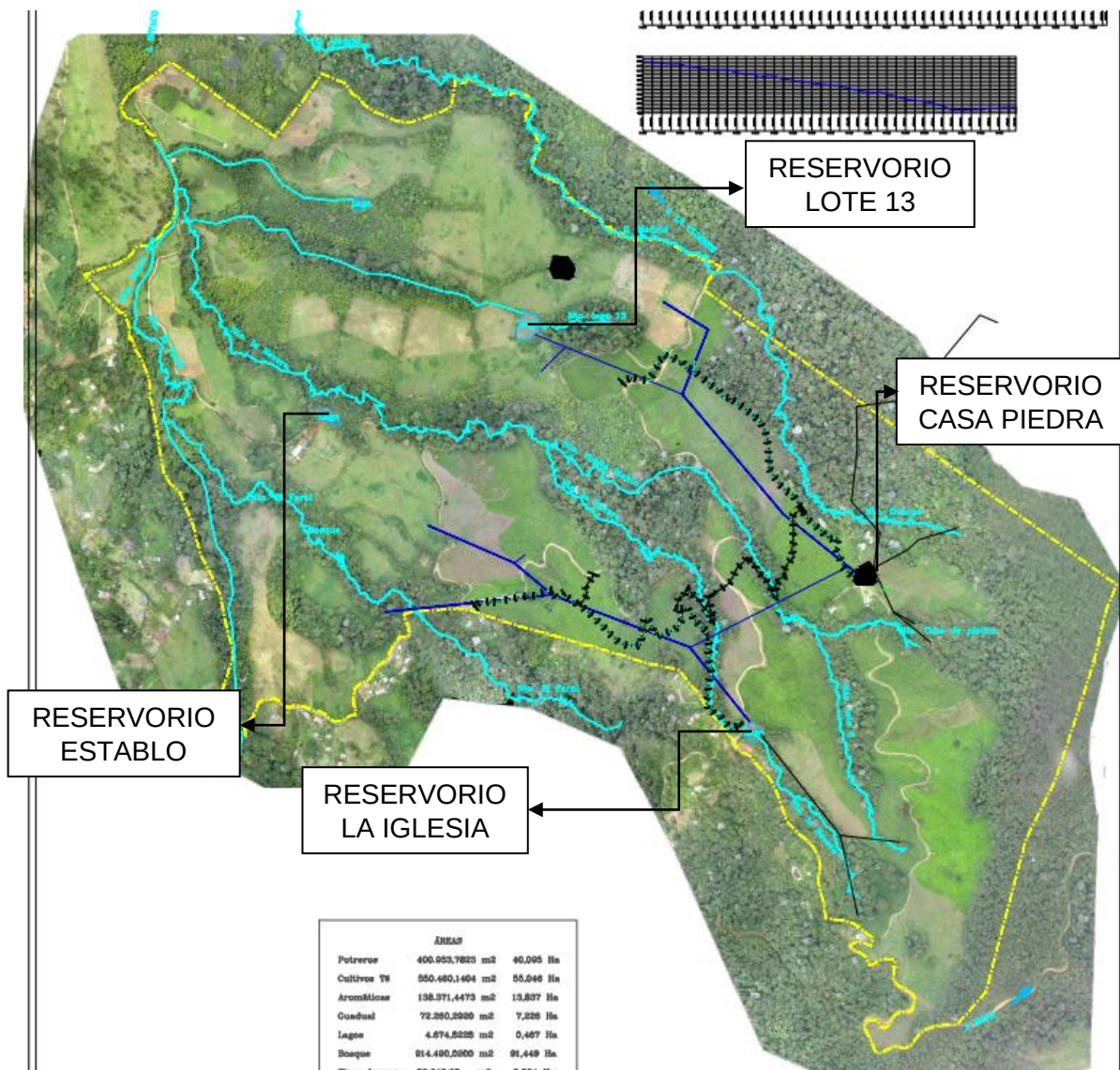


Figura 15. Plano topográfico de rutas de conducción desde reservorios hacia puntos de entrega en la Hacienda.

Con base en toda la información mencionada anteriormente se procedió a trasladar esta información a EPANET en el formato requerido para su modelación.

5.3.1. SIMULACIÓN DE RED HIDRÁULICA EN EPANET

Como primer paso para realizar la modelación se convirtió la información topográfica en el formato requerido por el software EPANET, posteriormente se procedió a realizar la modelación de las redes de conducción desde las concesiones hasta los

reservorios. Se modeló inicialmente la correspondiente al reservorio Casa Piedra. Dichas modelaciones para las redes de los reservorios fueron modelados bajo el escenario del caudal máximo entregado por las concesiones aportantes respectivas. Adicionalmente, se modelaron dos redes domésticas que son dependientes de las concesiones incluidas en el proyecto.

Como se mencionó anteriormente cada modelación comprendió tanto el estado estático ([Figura 16](#)) como el dinámico ([Figura 17](#)), de esta primera red se presentan ambos resultados, sin embargo, para las posteriores redes se presentarán en la sección de Anexos. De igual manera, en los títulos de las modelaciones se encontrará un vínculo que permitirá acceder al archivo de modelación y se abrirá en Epanet; para una correcta apertura, es necesario que en el computador se tenga a los archivos de extensión .net como aplicación predeterminada de ejecución a Epanet.

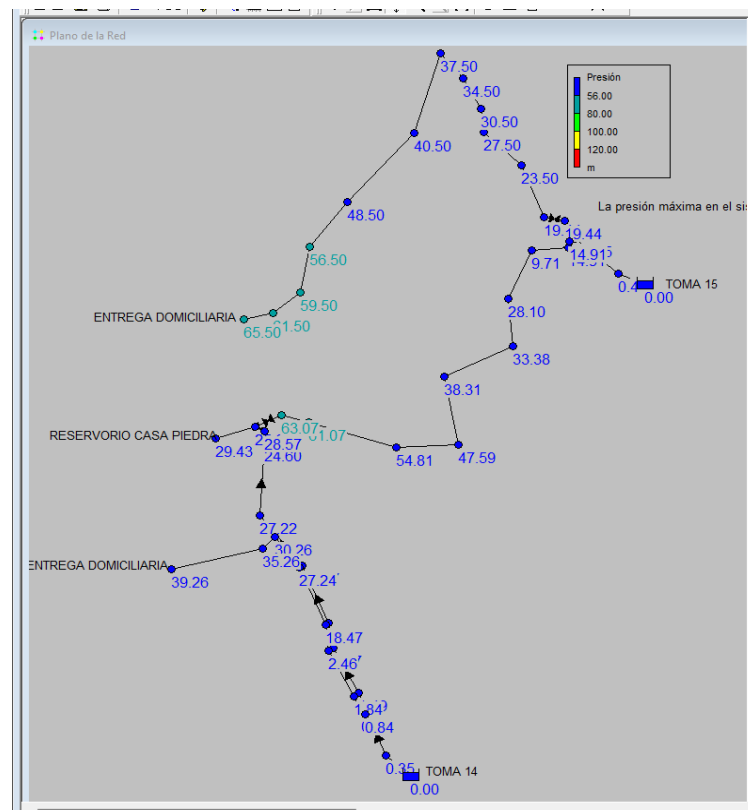


Figura 16. Resultado de modelación estática de red de conducción Casa Piedra.

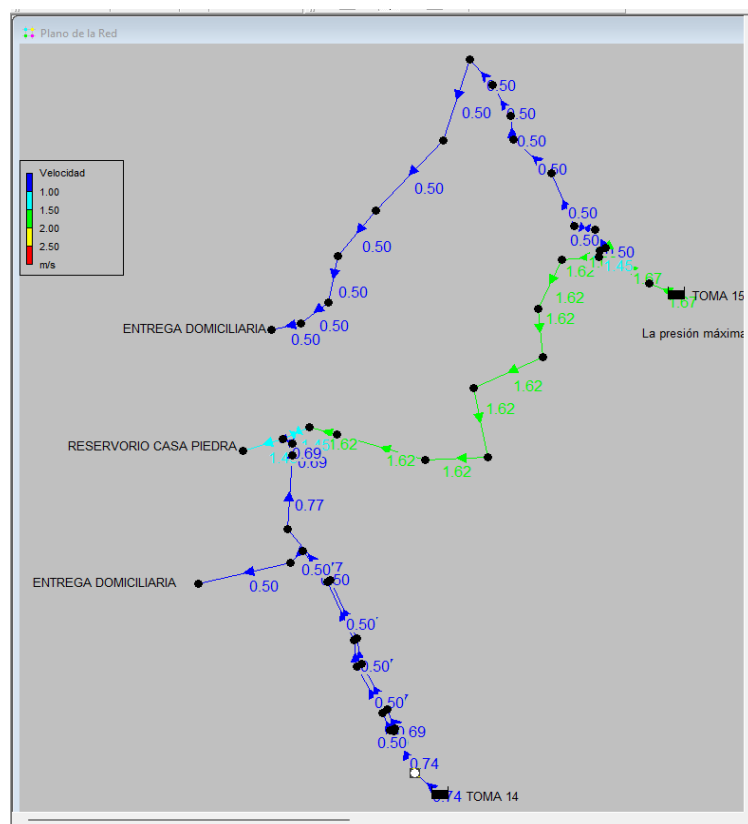


Figura 17. Resultado de modelación dinámica de red de conducción Casa Piedra.

Tal como se muestra en la [Figura 16](#), el estado estático permitió recomendar en su gran mayoría tubería de RDE 51 y aproximadamente 50 metros de RDE 41 debido a que supera la presión de trabajo de la primera. Se sugirió el uso de tubería de polietileno (comúnmente conocida como manguera) debido a la topografía y el tipo de terreno, al ser bosque, esta tubería permitiría mayor maniobrabilidad en su posterior instalación. El análisis de la modelación en estado dinámico ([Figura 17](#)) permitió definir los diámetros de las tuberías, los cuales para las redes domiciliarias fueron de 1/2" y para las redes de conducción hacia los reservorios fueron de 1 1/2"

Posteriormente se modeló la red de conducción del reservorio La Iglesia con su respectiva concesión ([Anexo 1](#)). La modelación estática ([Anexo 1A](#)) permitió recomendar tubería de RDE 51 dado que la presión nunca superó la presión de trabajo correspondiente, por otra parte, el diámetro de esta red fue definido teniendo en cuenta que a futuro se agregaría otra concesión a esta red, además, actualmente, suple un tanque de 10,000 L aguas abajo, es por esto por lo que el caudal máximo usado para la modelación dinámica ([Anexo 1B](#)) sólo corresponde a la concesión Nacimiento Lote 6, el cual es de 0,8 lps. De esta manera se recomendó

usar manguera de polietileno de 1½", debido a que se proyecta el caudal y la velocidad al cual será sometida esta red aumentará.

Una vez se finalizó la modelación de las redes de conducción desde concesiones hasta reservorios se inició la modelación de las redes de conducción desde los reservorios hasta los puntos de entrega. En la [Figura 18](#) se presenta el esquema de la red de conducción desde los reservorios planteado en EPANET.

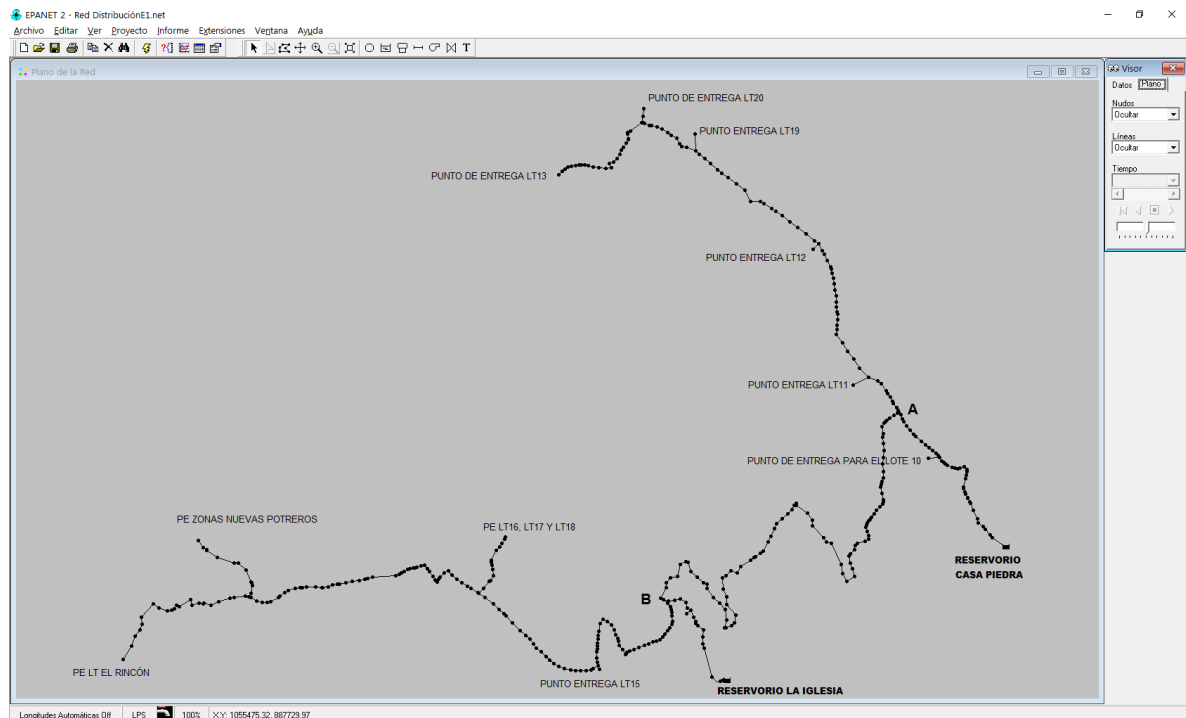


Figura 18. Esquema general de red de conducción desde reservorios hasta puntos de entrega.

Para facilitar la modelación de esta red se dividió en tres partes: la primera parte desde el reservorio Casa Piedra pasando por el punto A y beneficiando las entregas de los lotes 10, 11, 12, 19, 20 y 13, la segunda comprendió el reservorio La Iglesia, pasando por el punto B y benefició las entregas en los lotes, 15, 16, 17, 18, El Rincón y las zonas de potreros, por último, la última red comprendió la tubería entre los puntos A y B, la cual sirvió como conexión entre las redes anteriores.

Inicialmente se realizó la modelación de la primera red mencionada (Reservorio Casa Piedra – A – Lotes 10, 11, 12, 19, 20 y 13) tanto en estado estático como dinámico (Ver [Anexo 2](#)). En la modelación estática ([Anexo 2A](#)) la variación de presión fue representada de acuerdo con la presión de trabajo de tuberías PVC mostrada en la [Tabla 7](#) y codificada por colores. En esta modelación se obtuvo como

presión máxima en el sistema 109.02 m.c.a (154.76 psi) y se obtuvieron tramos con tubería con RDE desde 51, 41, 32.5 hasta 26.

Por otro lado, en la modelación dinámica ([Anexo 2B](#)) se realizó con dos sectores de riego funcionando de manera simultánea (10.47 y 4.6 lps) en dos zonas diferente y se modelaron con diámetros de 4" en tuberías principales y 3" en tuberías sectoriales de entrega. De esta, manera, se obtuvieron velocidades de 1.62 m/s en la red de conducción principal y 2.03 m/s en las tuberías de entrega.

Adicionalmente se realizó una modelación más crítica, en aquella entraron en funcionamiento dos sectores de 10.47 lps (un total de 20.94 lps) en dos localizaciones diferentes obteniendo de esta manera velocidades cercanas a 2.3 m/s en la línea de conducción y de 2 m/s en líneas de entrega, por tanto, este escenario no fue tomado en cuenta, dado que las altas velocidades generarían altas pérdidas y además su poder erosivo sería bastante peligroso para la integridad material de la red.

De esta manera se definió un diámetro de 4" para tuberías de conducción y 3" para tuberías de entrega sobre los lotes. Sin embargo, en este escenario se tuvo que la presión en las entregas es demasiado alta para sistemas de riego localizados de alta frecuencia (zona en amarillo en [Anexo 2A](#)), específicamente goteo, además, las tuberías de los RDE más bajos tienen un costo más elevado, por tanto, se recomendó la implementación de una cámara de quiebre de presión.

Tabla 7. Rangos de presión de trabajo PVC.

RDE	Presión de trabajo (psi)	Presión de trabajo (m.c.a.)
51	80	56.32
41	100	70.4
32.5	125	88
26	160	112.64
21	200	140.8
13.5	315	221.76

Luego, la tubería de conducción desde el reservorio Casa Piedra hacia el punto A quedó determinada, ya que este sería único funcionamiento. Por otro lado, la red desde el punto A hacia los lotes 10, 11, 12, 19, 20 y 13 fue sometida al escenario en el cual fuese alimentada por el Reservorio La Iglesia a través de la tubería de conexión (A – B).

En la modelación estática ([Anexo 3A](#)) de este escenario se obtuvo como resultado una presión máxima de 115.48 m.c.a. (164 psi) y se encontró tuberías con

requerimientos de presión de trabajo correspondientes a RDE 51, 41, 32.5, 26 y 21, siendo mayores incluso a las obtenidas cuando la red fue suplida por el reservorio Casa Piedra.

Posteriormente, se realizó la modelación hidráulica es estado dinámico ([Anexo 3B](#)), con el escenario previo de caudales (dos módulos simultáneos de 10.47 y 4.6 lps), en esta se obtuvieron velocidades de 1.6 a 1.9 m/s en líneas de conducción principal y de hasta 2.06 m/s en líneas de entrega, sin embargo, debido al alto caudal las pérdidas fueron elevadas en la tubería de conexión (A – B) y se presentaron presiones negativas, por tanto, este sistema tendría un caudal límite de 10.47 lps cuando funcione de esta forma (La Iglesia, B – A, lotes 12, 13, 19 y 20).

De esta manera, la modelación dinámica de esta red con los dos reservorios verificó el uso de diámetro de 4" para tuberías principales y de 3" para tuberías de entrega. Por otro lado, la modelación estática, en ambos casos, evidenció la necesidad de una cámara de quiebre de presión a lo largo de la red comprendida entre el punto A y los puntos de entrega en los lotes 11, 12, 13, 19 y 20.

Las cámaras de quiebre de presión son aquellas estructuras dispuestas a lo largo de la red de conducción con la finalidad de disipar la energía , o “quebrar la presión”, del fluido hasta la presión atmosférica, se disponen cuando la presión en el interior de la tubería es mayor que la presión de trabajo de la misma o cuando la topografía del terreno es muy quebrada (Martínez Ruiz, 2012), como en este caso. De esta manera, se analizaron dos localizaciones de la cámara de quiebre ubicadas y siendo suplidas por el Reservorio La Iglesia, dado que este efectuó la mayor presión sobre esta sección de red.

La primera se ubicó aproximadamente 150 metros aguas abajo del punto A y cumplió la función de quebrar 53.27 m.c.a (ver [Anexo 4A](#)), esta permitió al sistema obtener una presión máxima de 62.21 m.c.a. (88.37 psi), y, se evidenciaron cambios de RDE en la zona final de la red. Por otro lado, la segunda localización de la cámara de quiebre se ubicó 90 metros aguas abajo de la primera localización (ver [Anexo 4B](#)), esta cámara permitió quebrar 62.68 m.c.a., se obtuvo una presión máxima de 52.08 m.c.a. (73.98 psi) y el cambio de RDE resultó previo a la cámara, sin embargo, la presión de funcionamiento aguas abajo de la cámara nunca excedió la presión de trabajo del RDE 51.

Al evaluar el comportamiento dinámico de la red con cada una de las localizaciones de la cámara de quiebre en referencia a los requerimientos de caudal y presión en los puntos de entrega ([Tabla 8](#))– basándose en que el caudal a entregar es de 10.47 lps - la segunda localización de cámara permitió cumplir con el caudal, pero no con

las presiones de entrega. Por otra parte, la primera localización cumplió con ambos requerimientos en casi todas las entregas, exceptuando la entrega del lote 12, la cual debió ser reubicada previa a la cámara de quiebre. Adicionalmente, se debe mencionar que debido al desnivel natural entre los reservorios y la entrega del lote 11 este tendrá una limitante en cuanto a su presión cuando se requieran altos caudales. Por lo cual es recomendable usar bajos caudales para limitar las pérdidas por fricción y a menos que la presión requerida sea mayor que la mencionada se deberán usar alternativas de adición de energía.

Tabla 8. Presiones en puntos de entrega con modelación La iglesia- B - A - lotes 11, 12, 19, 20 y 13.

Punto de entrega (caudal 10.47 lps)	Con cámara ubicada a 150 m del punto A (m.c.a.)	Con cámara ubicada a 240 m del punto A
LT11	32.73	31.36
LT12	41.12	45.68
LT19	41.76	33.32
LT20	57.62	49.34
LT13	45.31	37.45

Adicionalmente, la velocidad sobre las tuberías principales fue de aproximadamente 1,20 m/s y de 2.06 m/s sobre las tuberías sectoriales de entrega.

Una vez fue determinada la posición de la cámara de quiebre se procedió a evaluar su comportamiento dinámico siendo suplido por el reservorio Casa Piedra bajo un caudal total de 15. 07 lps (un sector de 10.47 lps y otro de 4.6 lps). En este se obtuvo velocidades de 1.67 m/s en tuberías principales y en las tuberías sectoriales de entrega entre 0.84 m/s y 1.92 m/s adicionalmente, en los puntos de entrega se obtuvieron los datos de presión mostrados en la [Tabla 9](#).

Tabla 9. Presión en puntos de entrega con modelación dinámica de red suplida por reservorio Casa Piedra.

Punto de entrega (caudal = 10.47 lps)	Presión (m.c.a.)
LT11	36.18
LT12	43.24
LT19	41.76
LT20	57.62
LT13	45.31

Se debe mencionar que al usar la red A – B en este escenario se tendrá un límite de caudal cercano a 10.47 lps en el cual la red comenzará a presentar cavitación por la generación de presiones negativas. Del mismo modo, esta red fue planteada en 4" para disminuir las pérdidas y maximizar el caudal a transportar por la misma.

Posteriormente se realizó la modelación de la red comprendida entre el reservorio La Iglesia, el punto B y los puntos de entrega sobre los lotes 15, 16, 17, 18, El Rincón y el sector de potreros, esto, tanto en estado estático como dinámico.

En la modelación estática ([Anexo 5A](#)) se obtuvo como resultado la presencia de presiones correspondientes a los RDE 51, 41, 32.5, 26, 21 e incluso 13.5 y una presión máxima en la red de 175.63 m.c.a. (249.76 psi). Por otro lado, la modelación dinámica ([Anexo 5B](#)), que fue realizada con el funcionamiento simultáneo de tres sectores diferentes, uno de 10.47 lps y dos de 4.6 lps, presentó resultados de velocidades entre 1.6 m/s y 2.23 m/s en las tuberías de conducción y de 0.87 m/s y 2.17 m/s en las tuberías de sectoriales de entrega.

Posteriormente se realizó la modelación de la red a partir del punto B hacia los puntos de entrega 15, 16, 17, 18, Rincón y Potreros siendo suplida por el reservorio Casa Piedra a través de la tubería de conexión A – B. En la modelación estática ([Anexo 6A](#)) se encontró una presión máxima de 169.47 m.c.a. (240.99 psi) y presiones correspondientes a tuberías de RDE 51, 41, 32.5, 26, 21 y 13.5 al igual que en el caso anterior. De igual manera se realizó una modelación dinámica ([Anexo 6B](#)) en la cual se usó un caudal de 10.47 lps -dado que valores mayores generaron presiones negativas- y se obtuvieron velocidades de 1.2 m/s sobre tuberías principales y 2.17 sobre tuberías sectoriales de entrega.

Tal como se observó, los resultados de velocidad en las modelaciones se ubicaron dentro de los rangos recomendados para este tipo de conducciones lo cual permitió ratificar los diámetros de estas tuberías (Mott, 2006; OPS & CEPIS, 2004). Sin embargo, las presiones resultantes en los tramos intermedios y finales de la red son demasiado altas para la red y sobrepasaron en sobremanera los requerimientos de los sistemas de riego. Además, el costo de las tuberías de los RDE más pequeños supondría un elevado costo final del proyecto, dado que esta variación porcentual de un RDE a otro puede estar entre 18% y el 34% dependiendo del diámetro y si es unión mecánica o de extremo liso. Por todo lo anterior, se procedió a ubicar cámaras de quiebre que permitieran cumplir con los requerimientos de caudal regulando las presiones en la red. Cabe mencionar que para determinar las localizaciones de las cámaras se usó la modelación estática de la red siendo suplida por el reservorio La Iglesia, dado que fue el que mayores presiones generó.

Con base en lo anterior, se decidió establecer la primera cámara de quiebre 200 metros abajo del punto B, justo después del punto de entrega en el lote 15. Una vez se realizó la modelación estática con la cámara se obtuvieron presiones correspondientes a tuberías de RDE 51, 41, 32.5, 26 y tramos cortos de RDE 21 y una presión máxima en la red de 117.04 m.c.a. (166.25 psi). Este escenario no brindó las condiciones hidráulicas adecuadas para las entregas sectoriales. De esta manera, se localizó una segunda cámara de quiebre a 300 metros aguas abajo de la primera cámara.

Al realizar la modelación estática de la red con las dos cámaras de quiebre (Ver [Anexo 7A](#)) mayormente se obtuvieron presiones de trabajo respectivas a tuberías de RDE 51 y pocos tramos previos a las cámaras y en una sola entrega sectorial para tuberías de RDE 41; de esta manera se eliminaron todas los RDE inferiores. Las cámaras de quiebre tuvieron la función de liberar al sistema de 58.59 m.c.a. (83.22 psi) y 60.31 m.c.a. (85.67 psi) respectivamente y permitieron ubicar la presión máxima del sistema en la segunda cámara de quiebre. Luego, se realizó la modelación dinámica, los resultados de presión en los puntos sectoriales de entrega se presentan en la [Tabla 10](#).

Tabla 10. Presiones resultantes mediante modelación dinámica de la red La Iglesia - B - LT14, LT15, LT16, LT17, LT18, Potrerros, El Rincón.

Punto de entrega (caudal = 10.47 lps)	Presión (m.c.a.)
LT14	22.68
LT15	49.07
LT16, LT17, LT18	33.31
Potrerros	44.36
El Rincón	54.60

Como se puede observar, las presiones de entrega para los módulos de 10.47 lps son cumplidas en gran parte de los puntos de entrega exceptuando los correspondientes al lote 14, 16, 17 y 18. Cabe mencionar que en lote 14 se obtuvo una baja presión debido a que su desnivel en relación con el reservorio La Iglesia es poco, siendo este el factor que determinó su limitación de presión y no el posicionamiento de las cámaras de quiebre. Por otro lado, la entrega en los lotes 16, 17 y 18 también estuvo por debajo de 40 m.c.a., sin embargo, estos 4 lotes poseen cultivos de edad media que pueden ser suplidos con sistema de riego de baja exigencia en cuanto a presión, como es el caso del sistema de riego diseñado por ETAGRO ([Tabla 5](#)).

Al realizar la modelación dinámica de esta red ([Anexo 7B](#)) con un sector con 10.47 lps y dos sectores de 4.6 lps se evidenciaron velocidades de 1.62 m/s hasta 2.12 m/s en tuberías principales y de 0.94 m/s hasta 1.92 m/s en tuberías sectoriales de entrega. De acuerdo con lo anterior, las velocidades se encuentran en el rango recomendado y cualquier adición de caudal hará que se sobrepase este rango, lo anterior debido a que mediante otra modelación el sistema fue sometido al caudal anterior sumado a un módulo de 4,6 lps más y se produjeron velocidades que sobrepasaron el umbral de 2.5 m/s.

Después se procedió a analizar la red B – LT15, 16, 17, 18, Potreros y El Rincón siendo abastecida por el reservorio Casa Piedra a través de la conexión A – B y su uso en conjunto con las cámaras de quiebre para así validar el funcionamiento de ese escenario. Como resultado de la modelación estática de este escenario (Ver [Anexo 8A](#)) se obtuvo que las cámaras liberaron al sistema de 52.13 m.c.a. (70.04 psi) y 60.31 m.c.a. (85.67 psi) respectivamente, además, que la tubería de conexión entre A y B resultó sometida a presiones de trabajo menores que las correspondientes al RDE 51.

Posteriormente se realizó la modelación dinámica (Ver [Anexo 8B](#)) de esta red, teniendo como base el funcionamiento de un sector con un requerimiento de 10.47 lps como máximo, dado que requerimientos mayores en este escenario aumentaron en gran medida las pérdidas presentándose presiones negativas a lo largo de la red de conexión A – B. La modelación obtuvo como resultado velocidades de 1.13 m/s en las tuberías principales de conducción y 1.92 m/s en las tuberías sectoriales de entrega, dichas velocidades se encuentran en el rango recomendado. Por otro lado, se presentan en la [Tabla 11](#) tal las presiones obtenidas en las entregas sectoriales con un caudal de 10.47 lps.

Tabla 11. Presiones obtenidas en las entregas red Casa Piedra - B - A - LT15, 16, 17, 18, Potreros y El Rincón.

Punto de entrega (Caudal: 10.47 lps)	Presión (m.c.a.)
El Rincón	45.74
Potreros	45.45
LT16, LT17 Y LT18	29.72
LT15	35.04

Como se puede observar en la tabla anterior las entregas sectoriales en los lotes 15, 16, 17 y 18 no cumplieron con el requisito de presión del sistema de riego de ALVECA S.AS, mencionados en la [Tabla 6](#), sin embargo, estos lotes son de cultivo de edades media los cuales pueden ser suplidos mediante sistemas de riego de

más bajo requerimientos como los de la compañía ETAGRO mencionados en la [Tabla 5](#). Sin embargo, si se requiriera aumentar las presiones en los lotes mencionados se podría construir un sistema de bypass que permitiera conectar la red previa a la cámara de quiebre y esta red, asegurándose que la presión de trabajo de esta tubería esté por debajo de aquella a la cual sería sometida con este sistema.

5.4. COSTEO PRELIMINAR

Para realizar el proceso de costeo preliminar se extrajeron las longitudes de tuberías y mangueras clasificadas de acuerdo con RDE desde el software EPANET. Posteriormente, los accesorios requeridos en la red fueron establecidos de acuerdo con el despiece de la red, esto fue establecido en los planos correspondientes. Cabe resaltar que las cotizaciones fueron realizadas en el año 2020 y los precios corresponden a tal año.

5.4.1. Red de conducción Reservoirio Casa Piedra

El plano de despiece de esta red se presenta en el [Anexo 9](#), los materiales y su costo preliminar adicionalmente la mano de obra proyectada se presentan en la [Tabla 12](#).

Tabla 12. Costeo preliminar de materiales red de conducción Reservoirio Casa Piedra

DETALLE	VR TOTAL
MATERIALES	\$ 6,408,510
INSTALACIÓN	\$ 6,465,760
TOTAL	\$12,874,270

5.4.2. Red de conducción Reservoirio La Iglesia

Posteriormente se realizó el plano de despiece de la red de conducción del Reservoirio La Iglesia, el cual se muestra como [Anexo 10](#). Con base en dicho plano se realizó el listado y costeo preliminar de esta red, este se muestra en la [Tabla 13](#).

Tabla 13. Costeo preliminar materiales de red de conducción Reservoirio La Iglesia.

DETALLE	VR TOTAL
MATERIALES	\$ 1,853,348

INSTALACIÓN	\$ 2,088,000
TOTAL	\$ 3,941,348

Para la red de conducción desde los reservorios hacia los puntos de entrega en los distintos lotes estos costeos preliminares fueron relacionados de acuerdo con el orden secuencial de su posible instalación en la Hacienda y fue dividida en 3 partes. De esta manera, la primera red comprende la red Reservorio La Iglesia – Lt14 - B – Lt15, 16, 17, 18, Rincón y Potreros, la segunda comprendido Reservorio Casa Piedra Lt10 – A – B y la tercera comprendió B – Lt11, 12, 13, 19 y 20.

5.4.3. Red de distribución Reservorio La Iglesia – Lt14 – B - Lt15, 16, 17, 18, Rincón y Potreros

Del software Epanet se obtuvo las características de las tuberías (diámetro, RDE y longitudes), los accesorios más específicos fueron mencionados y cotizados de manera global recurriendo a la experiencia de instaladores los cuales fueron planteados en el plano de despiece que muestra en el [Anexo 11](#). De esta manera se obtuvieron los materiales mencionados en la [Tabla 14](#).

Tabla 14. Costeo preliminar de materiales red de distribución La Iglesia - B - Lt14, Lt15, 16, 17, 18, Rincón y Potreros.

DETALLE	VR TOTAL
MATERIALES	\$ 34,462,807
MANO DE OBRA	\$ 9,033,800
TOTAL	\$43,496,607

Cabe mencionar que la cámara presupuestada en la anterior tabla y en las siguientes se basa en el diseño plasmado en el [Anexo 14](#). Aquella es una cámara de quiebre de tipo caída libre, dividida en dos compartimentos y con una capacidad máxima de 42 lps y una presión de 140 m.c.a.

5.4.4. Red de distribución Reservorio Casa Piedra – Lt10 – A – B

Esta tubería corresponde en gran parte a la tubería de conexión entre los dos reservorios, al igual que con los anteriores las características de las tuberías fueron extraídas de Epanet y los accesorios fueron determinados mediante un plano de

despiece (Ver [Anexo 12](#)) de acuerdo con la experiencia de instaladores del sector comercial de riegos. Los materiales y su costo preliminar se enlistan en la [Tabla 15](#).

Tabla 15. Costeo preliminar de materiales de red de distribución Casa Piedra - Lt10 - A - B.

DETALLE	VR TOTAL
MATERIALES	\$45,697,284
MANO DE OBRA	\$ 11,142,850
TOTAL	\$56,840,134

5.4.5. Red de distribución A – Lt11, 12, 13, 19 y 20

Al extraer los datos de longitud, diámetro y RDE de tubería se procedió a realizar un plano de despiece ([Anexo 13](#)), con base en el cual se procedió a cotizar preliminarmente la red, esto se muestra en la [Tabla 16](#).

Tabla 16. Costeo preliminar red A - LT11, 12, 13, 19 Y 20.

DETALLE	VR TOTAL
MATERIALES	\$ 25,197,530
MANO DE OBRA	\$ 5,127,000
TOTAL	\$ 30,324,530

5.4.6. Recomendaciones técnicas de zanjado

Con la necesidad de incrementar la vida útil de los sistemas de conducción se recurre a la excavación de zanjas por debajo del nivel del suelo, esto para aislar efectos tanto climáticos como antropológicos. Por tanto, es importante mencionar algunos aspectos y características técnicas relevantes de las zanjas.

Para la tubería de polietileno (manguera) ubicadas en las zonas boscosas es recomendable realizar zanjas de 30 cm de profundidad, dado que esta profundidad es suficiente para proteger la tubería y la zona boscosa no es una zona de alto tránsito. Por otra parte, tanto para tubería de PVC como también para polietileno en zonas de cultivo es aconsejable realizar zanjas de 40 cm de profundidad, ya que estas zonas presentan tránsito de personas, pero no tránsito vehicular.

Por último, en las zonas en las que las tuberías requieren atravesar carreteras se recomienda realizar zanjas de entre 70 cm y 80 cm con la finalidad de evitar posibles

daños por el tránsito vehicular. En cuanto al tapado de las zanjas, este se realiza con el mismo material extraído de las zanjas, sin embargo, se recomienda evitar en las primeras capas objetos como piedras, dado que estas podrían romper o deformar las tuberías.

6. CONCLUSIONES

- De acuerdo con las bases de datos consultadas y los cálculos realizados con esta información los valores máximo y mínimo de Evapotranspiración del Cultivo (ET_c) con una probabilidad de excedencia de 50% fueron de 62.96 mm/mes y 40.76 mm/mes respectivamente. Adicionalmente, el caudal máximo requerido en flujo continuo fue de 13.96 lps, lo cual, teniendo en cuenta un área total de cultivo de 84.94 ha, equivale a un volumen mensual de 36,184.32 m³. Sin embargo, como se observa en la [Figura 12](#), el período de julio y agosto sobrepasan el caudal ofertado por las concesiones, esto es un déficit total de 12,181.92 m³, que deberán ser almacenados por la compañía para suplir las necesidades hídricas totales del cultivo.
- Finalmente, se realizó la simulación hidráulica de 5 redes de conducción de agua, 2 redes de conducción desde concesiones de agua hacia reservorios (Casa Piedra y La Iglesia) y 3 redes de conducción desde aquellos reservorios hacia puntos de entrega distribuidos a lo largo del cultivo de té de la Hacienda Himalaya. Esta simulación determinó que: las dos primeras redes consistieran en tubería de polietileno de 1.1/2" y 1/2" de RDE 51 y 41 y las otras tres redes, al ser sometidas a mayores caudales y presión, serían en tubería de unión mecánica de 4" para conducción principal y de 3" en las entregas sectoriales con RDE que van desde 51 hasta 32.5. Lo anterior con un costo global de 147'476.889 pesos. Cabe mencionar que se determinó la posición de 3 cámaras de quiebre a lo largo de las redes de conducción con la finalidad de regular la presión y minimizar los costos, dado que el 16% del costo global del proyecto corresponde a tuberías afectas por estas cámaras.
- Este trabajo permitió, desde el punto de vista del desarrollo personal, aplicar el conocimiento teórico adquirido a lo largo de la carrera con los requerimientos de un caso de la vida real. De esta manera, permitió al profesional enfrentar situaciones que desde lo teórico no se proyectan y que, pueden someter un sistema tan robusto a su deterioro e incluso fallo. Además, al agregar el componente empresarial se genera un aspecto en el cual los profesionales en formación enfrentan sus proyectos al concepto de rentabilidad y funcionalidad.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuro realizar una calibración en los requerimientos hídricos del cultivo por parte de la compañía, esto, ajustando la medición de caudales ofertados por las concesiones, añadiendo información climatológica más reciente.
- Se recomienda a la compañía ajustar toda la información de geoposicionamiento (coordenadas y altitud) de las concesiones, con la finalidad de tener una base de datos geográfica más sólida.
- Se recomienda realizar un mantenimiento de todas las redes existentes de acuerdo con una asesoría técnica, que permita el funcionamiento hidráulico adecuado de las mismas.
- Se recomienda que cualquier ajuste a realizar sobre la red diseñada sea modelado hidráulicamente con la finalidad de asegurar su funcionamiento adecuado.
- Se recomienda respetar tanto el diámetro como el RDE de las tuberías descritas, dado que estos factores determinan la vida útil de las redes.
- Se recomienda tener en cuenta los límites de caudal mencionados para cada red, dado que sobrepasar dichos límites incurrirá en el detrimento del período de vida útil del sistema y generará daños físicos sobre la red que a su vez significarán un aumento en el costo de manteamiento y reparación.
- Se recomienda analizar la viabilidad de realizar un sistema de Bypass para la tubería de entrega hacia los lotes 16, 17 y 18 con la finalidad de mejorar la presión de entrega en dicha zona.
- Se recomienda a la compañía Agrícola Himalaya S.A., destinar personal de tiempo completo, que esté calificado y capacitado para la comprensión del funcionamiento del sistema y, por tanto, de su operación, posibles ajustes y reparaciones.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADECUACIÓN DE TIERRAS AGROPECUARIAS. (2018). *Informe Final Estudio del recurso hídrico en Agrícola Hlmalaya con fines de planificación de oferta y demanda para riego*.
- Agrícola Himalaya S.A. (2017). *PROTOCOLO LABORES DE CAMPO*.
- Agrícola Himalaya S.A. (2018). *Programa de Uso Ediciente y Ahorro de Agua*.
- Ahmed, S., Griffin, T., Cash, S. B., Han, W. Y., Matyas, C., Long, C., Orians, C. M., Stepp, J. R., Robbat, A., & Xue, D. (2018). Global climate change, ecological stress, and tea production. En *Stress Physiology of Tea in the Face of Climate Change* (pp. 1–23). https://doi.org/10.1007/978-981-13-2140-5_1
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 298(0).
- ALVECA S.A.S. (2018). *Informe Diseño del sistema de riego para 7 Ha en el Predio El Rincón*.
- Banerjee, B. (1992). Botanical classification of tea. *Tea*, 25–51. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2326-6_2
- Bongiovanni, R. (2008). *Economía de los cultivos industriales: algodón, caña de azúcar, maní, tabaco, té y yerba mate*.
- Burgess, P. J., & Carr, M. K. V. (1997). Responses of young tea (*Camellia sinensis*) clones to drought and temperature. 3. Shoot extension and development. *Experimental Agriculture*, 33(3), 367–383. <https://doi.org/10.1017/S0014479797003050>
- Cámara de Comercio de Cali. (2018). Las 100, El Ranking de las Mejores. 208, 67–68. <https://issuu.com/camaracali/docs/208>
- Carr, M. K. V. (1974). Irrigating seedling tea in Southern Tanzania: Effects on total yields, distribution of yield and water use. *The Journal of Agricultural Science*, 83(2), 363–378. <https://doi.org/10.1017/S0021859600052072>
- Carr, M. K. V., Dale, M. O., & Stephens, W. (1987). Yield distribution in irrigated tea (*camellia sinensis*) at two sites in Eastern Africa. *Experimental Agriculture*, 23(1), 75–85. <https://doi.org/10.1017/S0014479700001150>
- Chen, X. H., Zhuang, C. G., He, Y. F., Wang, L., Han, G. Q., Chen, C., & He, H. Q.

- (2010). Photosynthesis, yield, and chemical composition of Tieguanyin tea plants (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) in response to irrigation treatments. *Agricultural Water Management*, 97(3), 419–425. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.10.015>
- Cheserek, B. C., Elbehri, A., & Bore, J. (2015). Analysis of Links between Climate Variables and Tea Production in the Recent Past in Kenya. *Donnish Journal of Research in Environmental Studies*, 2(2), 5–017. <http://www.donnishjournals.org/djres>
- CIAT, & CVC. (2016). *Portafolio de estrategias para la mitigación y adaptación al cambio climático: municipio de la Cumbre, Valle del Cauca*.
- Corcho Romero, F., & Duque Serna, I. J. (2005). *Acueductos, teoría y diseño*. <http://hdl.handle.net/11407/2545>
- De Costa, W. A. J. M., Mohotti, A. J., & Wijeratne, M. A. (2007). Ecophysiology of tea. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 299–332. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400005>
- Duncan, J. M. A., Saikia, S. D., Gupta, N., & Biggs, E. M. (2016). Observing climate impacts on tea yield in Assam, India. *Applied Geography*, 77, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.10.004>
- ETAGRO. (2015). *Sistema de riego por goteo*.
- FAO. (2004). *Agricultura Mundial, Hacia Los Anos 2015/2030: Informe Resumido*. FAO. <https://books.google.com.co/books?id=qvr--cUhFcUC>
- FAO. (2016). The state of food and agriculture; climate change. *Agriculture and Food Security*.
- Gunathilaka, R. P. D., Smart, J. C. R., & Fleming, C. M. (2017). The impact of changing climate on perennial crops: the case of tea production in Sri Lanka. *Climatic Change*, 140(3–4), 577–592. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1882-z>
- Gurovich, L. A. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego* (p. 458). <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A9806E/A9806E.PDF>
- Hajiboland, R. (2017). Environmental and nutritional requirements for tea cultivation. *Folia Horticulturae*, 29(2), 199–220. <https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0019>
- Han, W. Y., Li, X., & Ahammed, G. J. (2018). Stress physiology of tea in the face of climate change. *Stress Physiology of Tea in the Face of Climate Change*, 1–

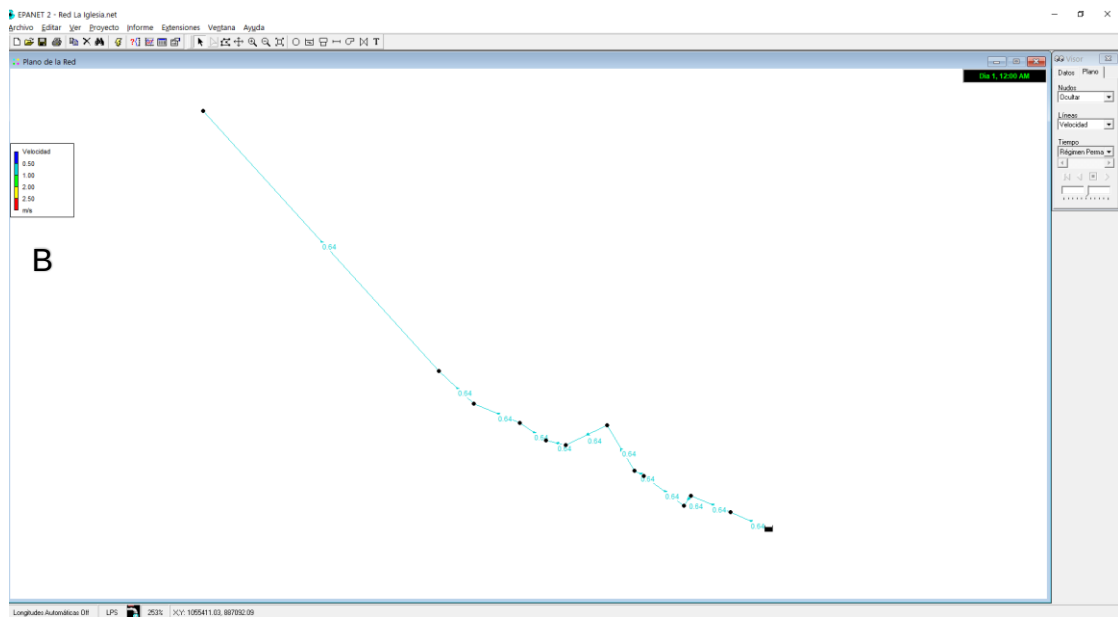
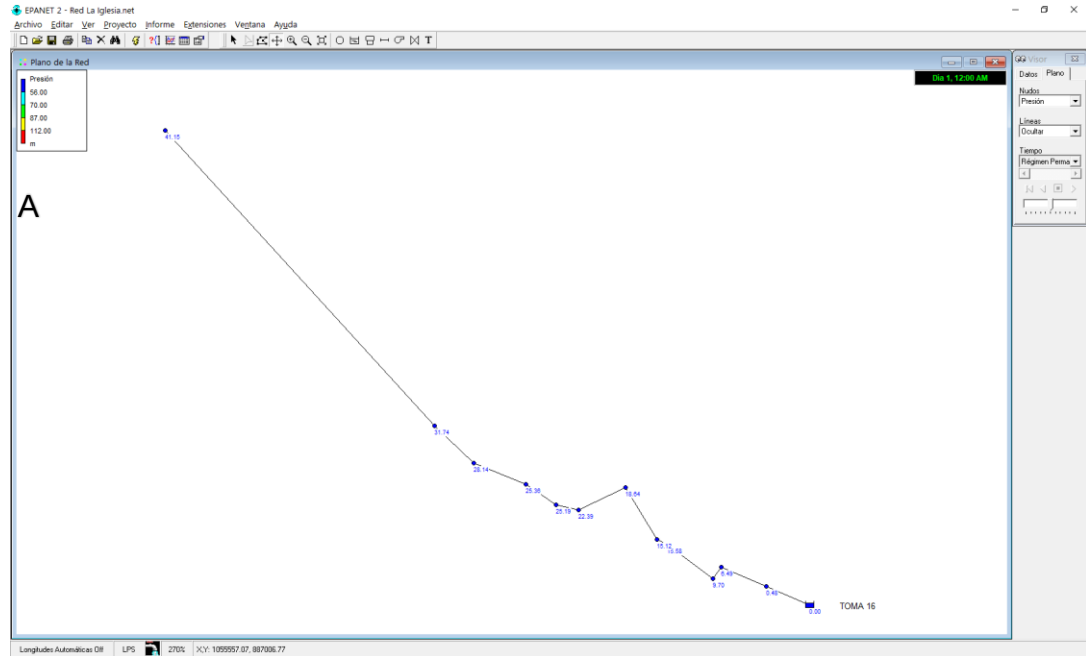
361. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2140-5>
- ICA. (s/f). *Agricultura Ecológica*. Recuperado el 9 de julio de 2021, de <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/agricultura-ecologica-1.aspx>
- Jeong, B. C., & Park, Y. G. (2012). Tea Plant (*Camellia sinensis*) Breeding in Korea. *Advanced Topics in Science and Technology in China*, 263–288. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31878-8_8
- Kigalu, J. M., Kimambo, E. I., Msite, I., & Gembe, M. (2008). Drip irrigation of tea (*Camellia sinensis* L.). 1. Yield and crop water productivity responses to irrigation. *Agricultural Water Management*, 95(11), 1253–1260. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.05.004>
- López Feldman, A. J., & Hernández Cortés, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El Trimestre Económico*, 83(332), 459. <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- Martínez Ruiz, D. E. (2012). *Estudio sobre estructuras de control para quiebre y reducción de presión en sistemas de abastecimiento de agua potable* [Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/12053/u670567.pdf?sequ>
- Möller, M., & Weatherhead, E. K. (2007). Evaluating drip irrigation in commercial tea production in Tanzania. *Irrigation and Drainage Systems*, 21(1), 17–34. <https://doi.org/10.1007/s10795-006-9016-9>
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos 6/e*. Pearson educación.
- Naciones Unidas. (2010). Informe sobre Desarrollo Humano. En *Relaciones Internacionales* (Vol. 0, Número 14).
- Nixon, D. J., Burgess, P. J., Sanga, B. N. K., & Carr, M. K. V. (2001). A comparison of the responses of mature and young clonal tea to drought. *Experimental Agriculture*, 37(3), 391–402. <https://doi.org/10.1017/S001447970100309X>
- Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista de Ingeniería*, 0(33), 115–123. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i33.184>
- OPS, & CEPIS. (2004). Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural. En *Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente* (p. 19).

[http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/032_Diseño_líneas de conducción e impulsión/Diseño_líneas de conducción e impulsión.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/032_Diseño_líneas_de_conducción_e_impulsión/Diseño_líneas_de_conducción_e_impulsión.pdf)

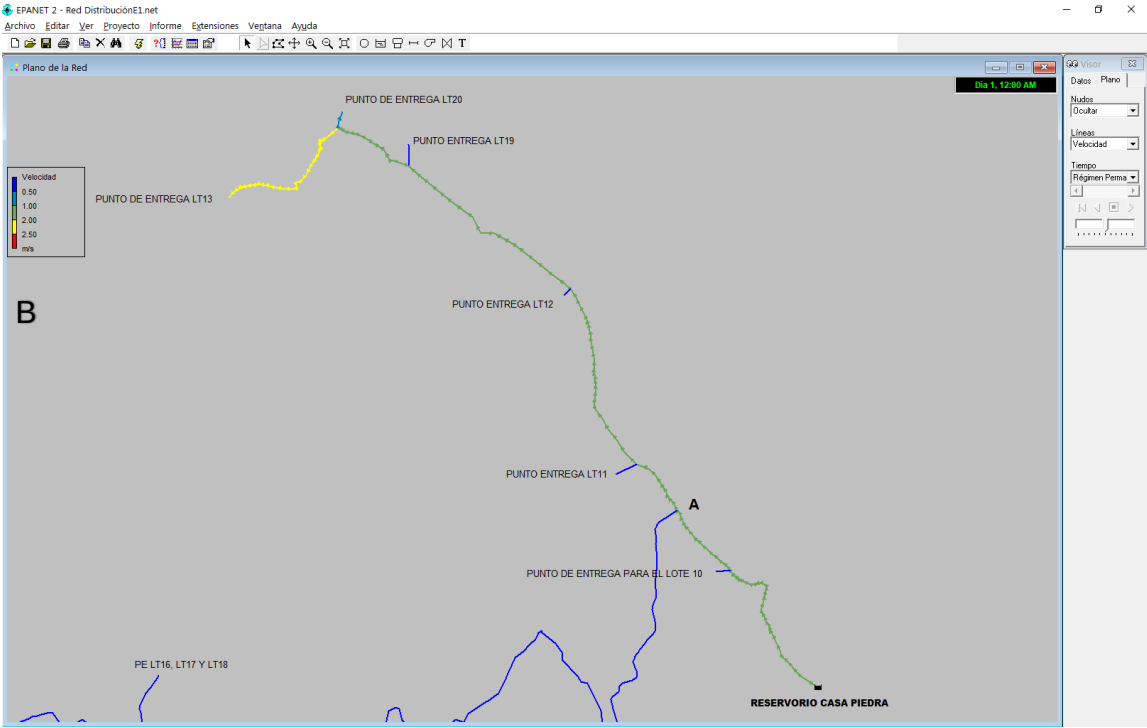
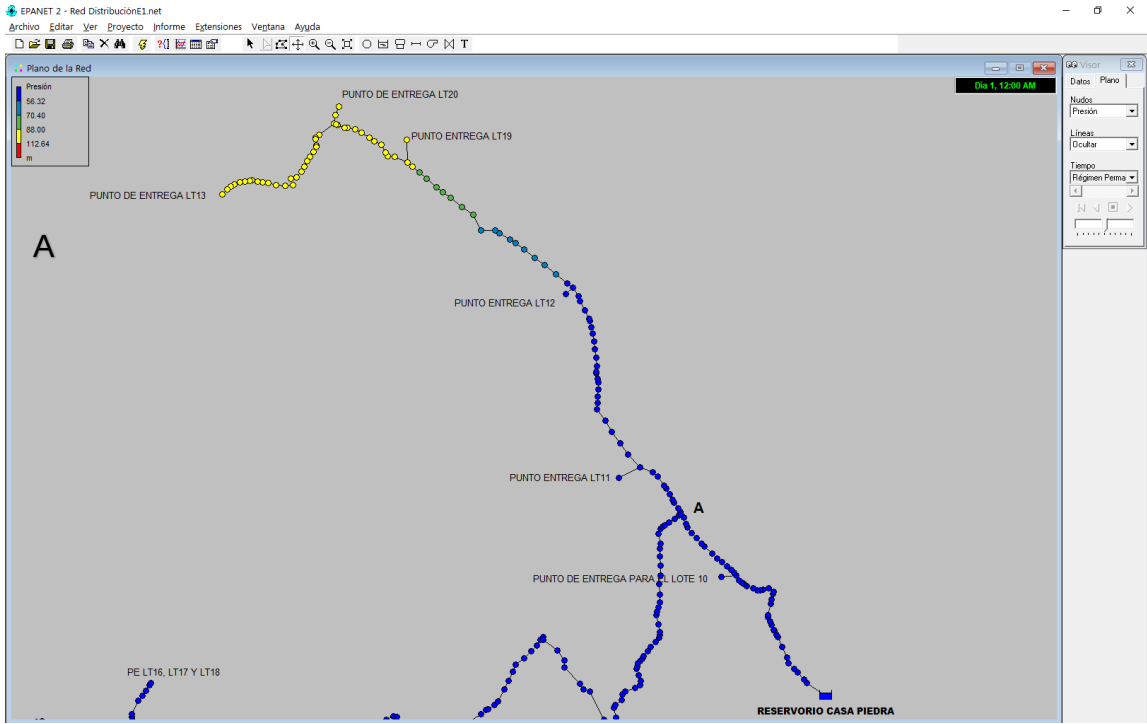
- Raj, E. E., Ramesh, K. V., Rajkumar, R., & Tejada Moral, M. (2019). Modelling the impact of agrometeorological variables on regional tea yield variability in South Indian tea-growing regions: 1981-2015. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1581457. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1581457>
- Salardini, A. A. (1978). *Yield response of Tea (Camelia Sinensis) to fertilizer and irrigation in two locations of Iran*. 123, 113–123.
- Stephens, B. W., & Carr, M. K. V. (1991). *Responses of Tea (Camellia sinensis) to Irrigation and Fertilizer. I . Yield*. 27, 177–191.
- Stephens, B. W., & Carr, M. K. V. (1993). *Responses of Tea (Camellia sinensis) to Irrigation and Fertilizer. III. Shoot Extension and Development*. 29, 323–339.
- Te Chow, V., Maidment, D. R., Mays, L. W., & Saldarriaga, J. G. (1993). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill. <https://books.google.com.co/books?id=O-3AOgAACAAJ>
- Universidad Politécnica de Valencia. (2006). EPANET 2. Manual de usuario. *Media*, 806(Enero), 1–92. <http://epanet.info/manuales/epanet-2-manual-de-usuario-espanol/>
- Wijeratne, M. a. (1996). Vulnerability of sri lanka tea production. *Water, Air and Soil Pollution*, 92, 87–94.
- Willson, K. C., & Clifford, M. N. (1992). *Tea: Cultivation to consumption* (K. C. Willson & M. N. Clifford (eds.)). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-2326-6>
- You, L., Xie, H., Wood-Sichra, U., Guo, Z., & Wang, L. (2014). Irrigation potential and investment return in Kenya. *Food Policy*, 47, 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.04.006>

9. ANEXOS

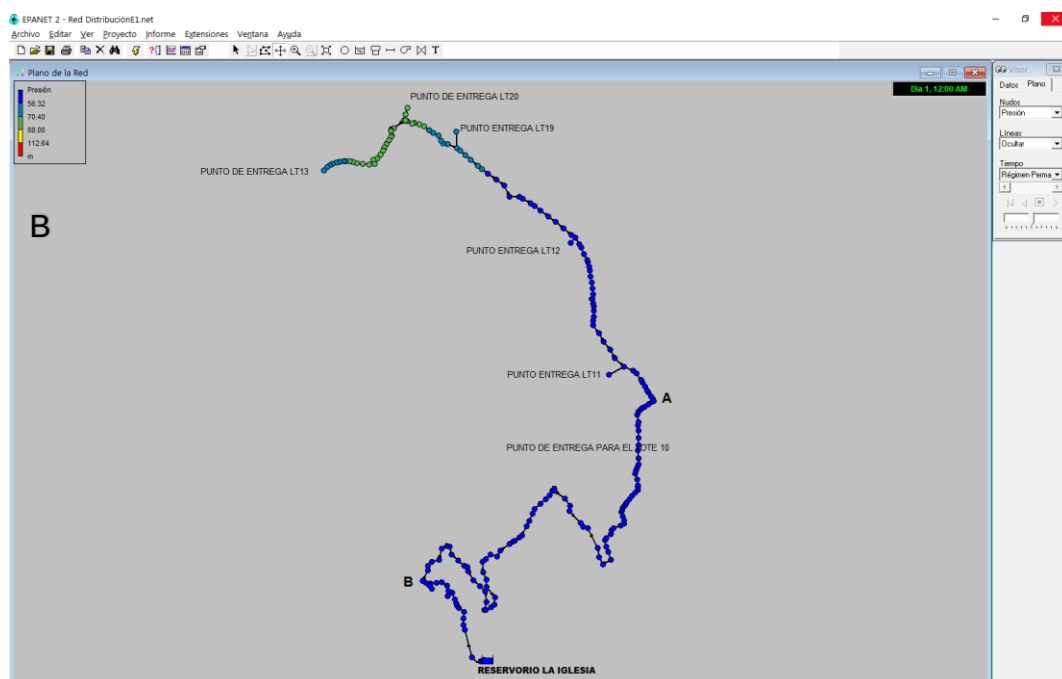
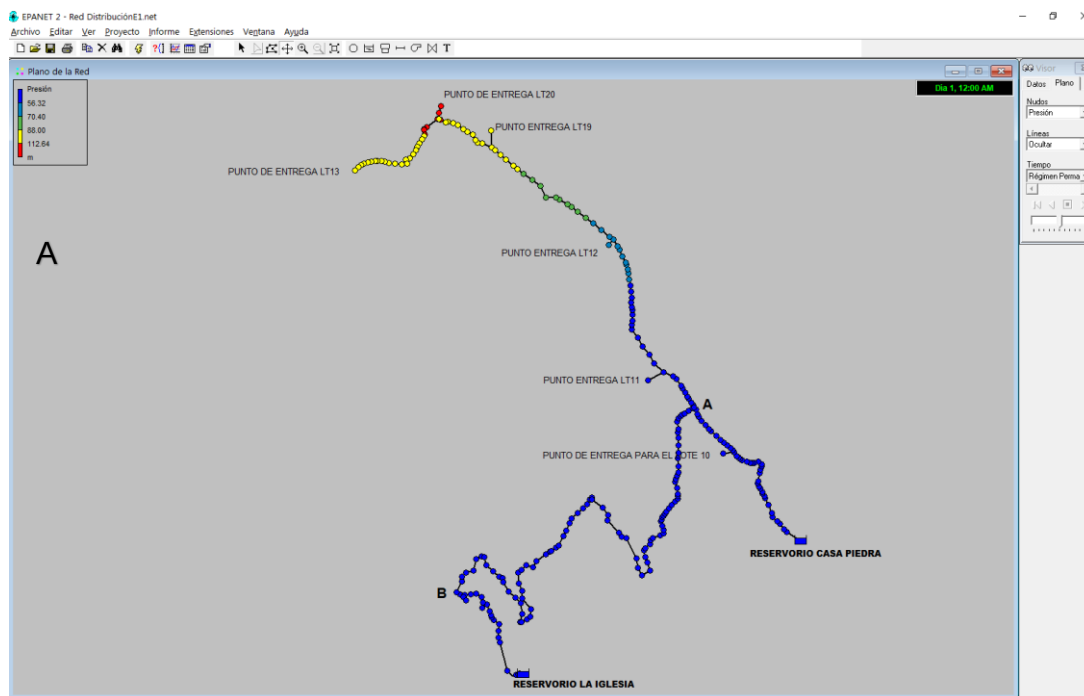
Anexo 1. Resultados de modelación hidráulica estática (A) y dinámica (B) de red de conducción La Iglesia.



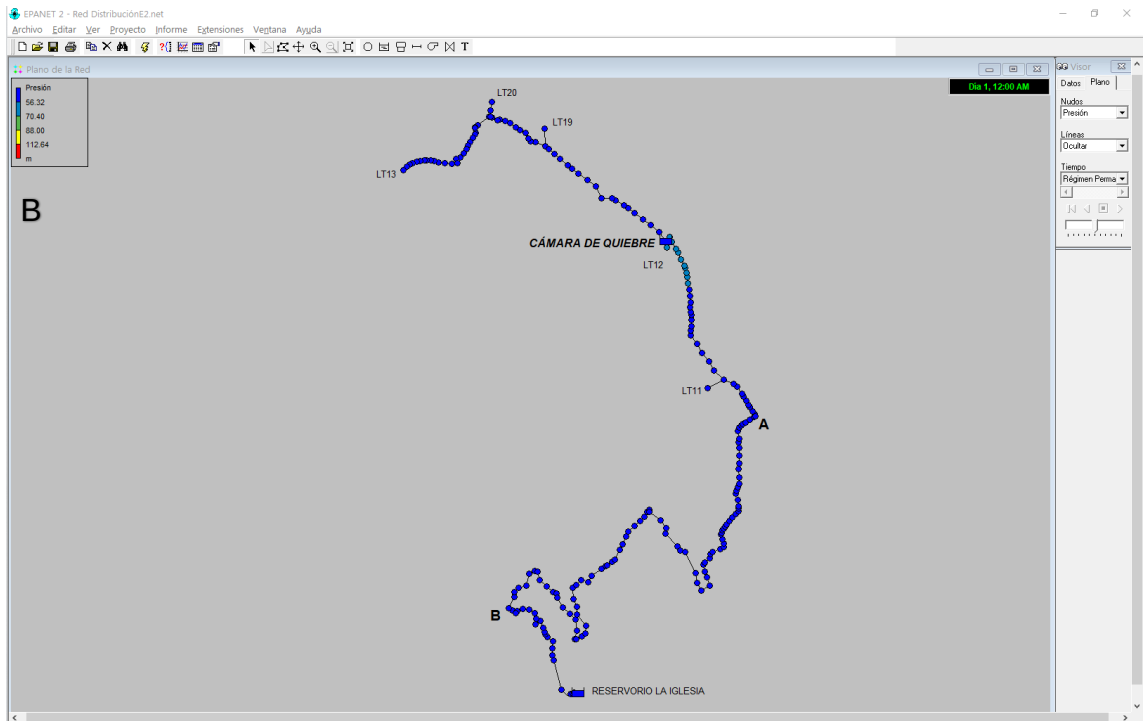
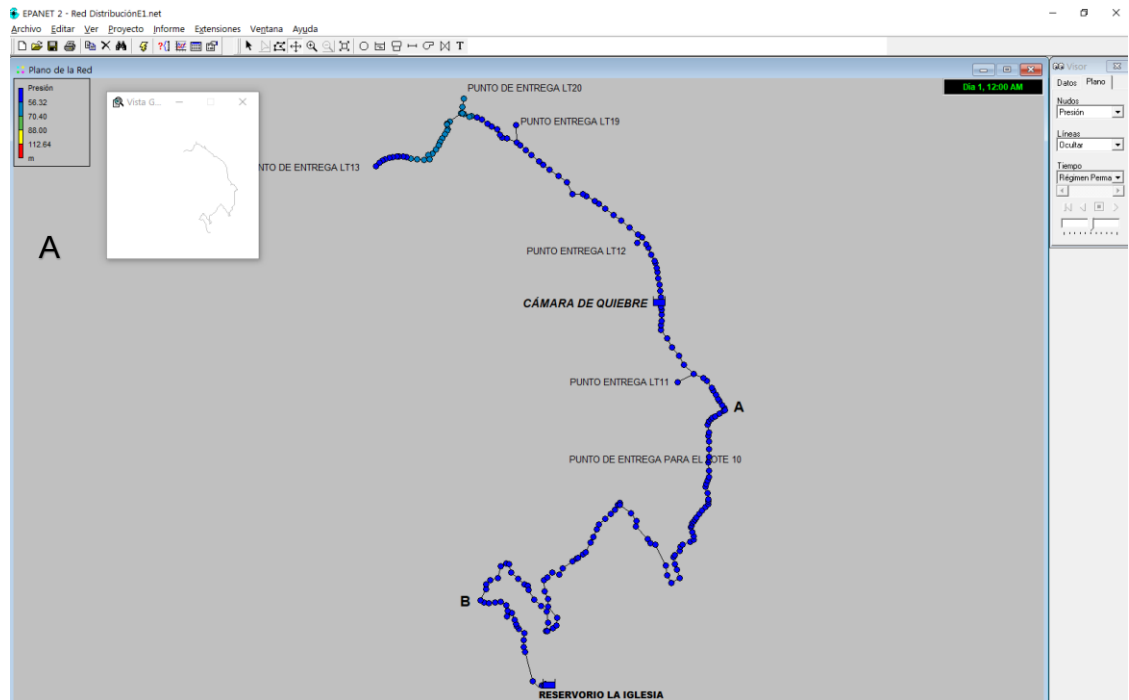
Anexo 2. Resultados de modelación hidráulica estática (A) y dinámica (B) de red Casa Piedra - A - Lotes 10, 11, 12, 13, 19 y 20.



Anexo 3. Resultados de modelación hidráulica estática (A) y dinámica (B) de red La Iglesia - A - B y lotes 11, 12, 13, 19 y 20.

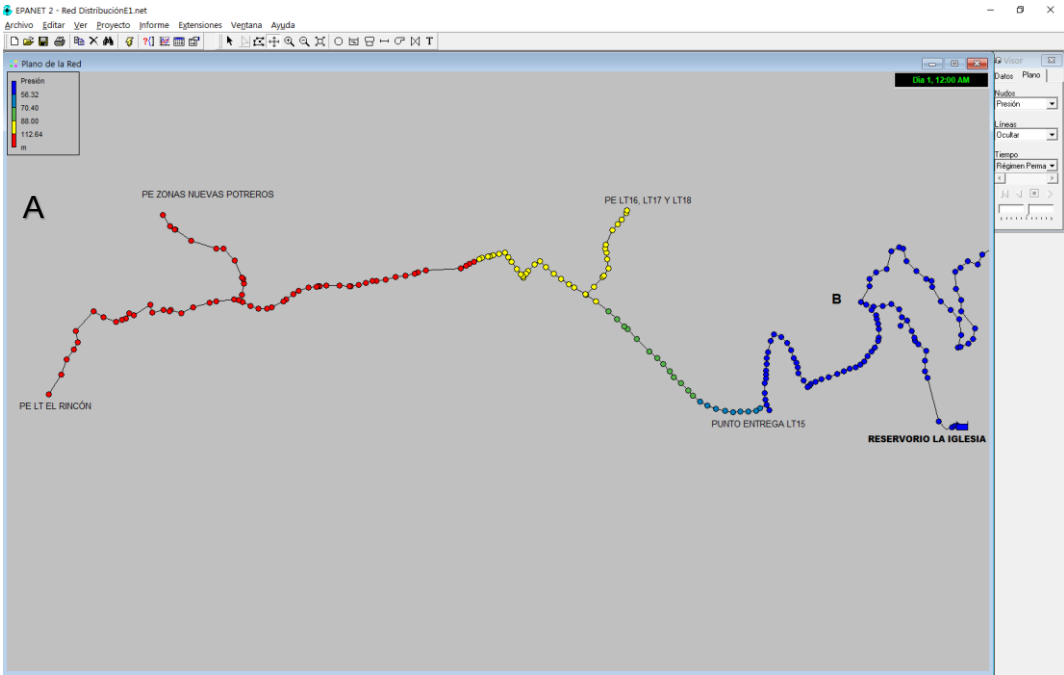


Anexo 4. Modelación estática para cámara de quiebre de [53.27 m.c.a.](#) (A) y [62.68 m.c.a.](#) (B) sobre la conducción La Iglesia- B - A - LT 11, 12, 13, 19 y 20.

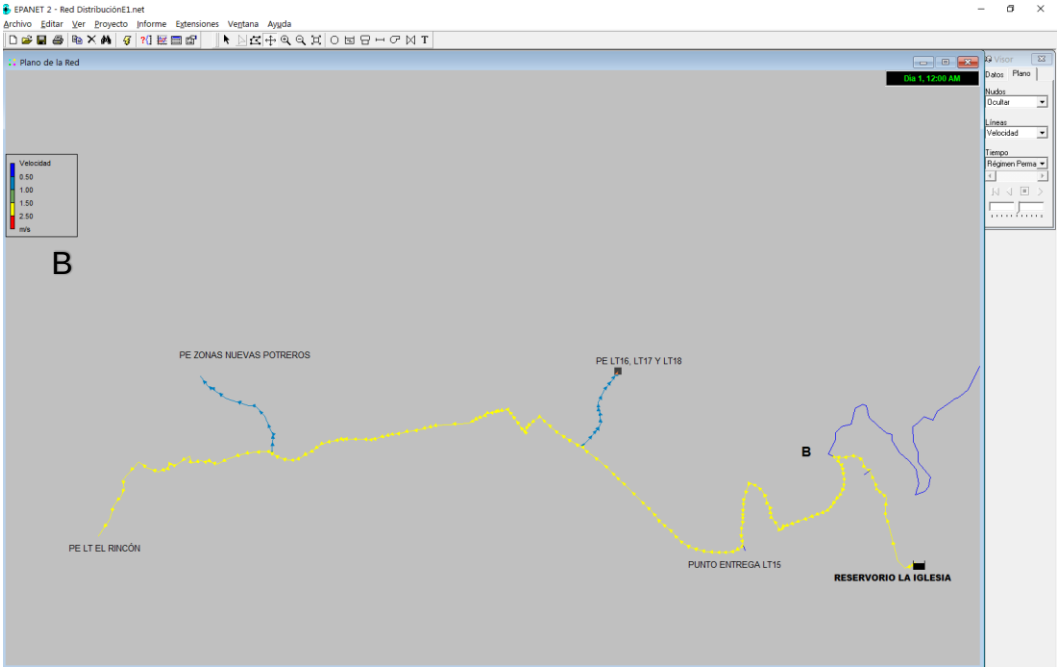


Anexo 5. Resultados de modelación estática (A) y dinámica (B) de la red La Iglesia - B - LT15, 16, 17, 18, potreros y El Rincón.

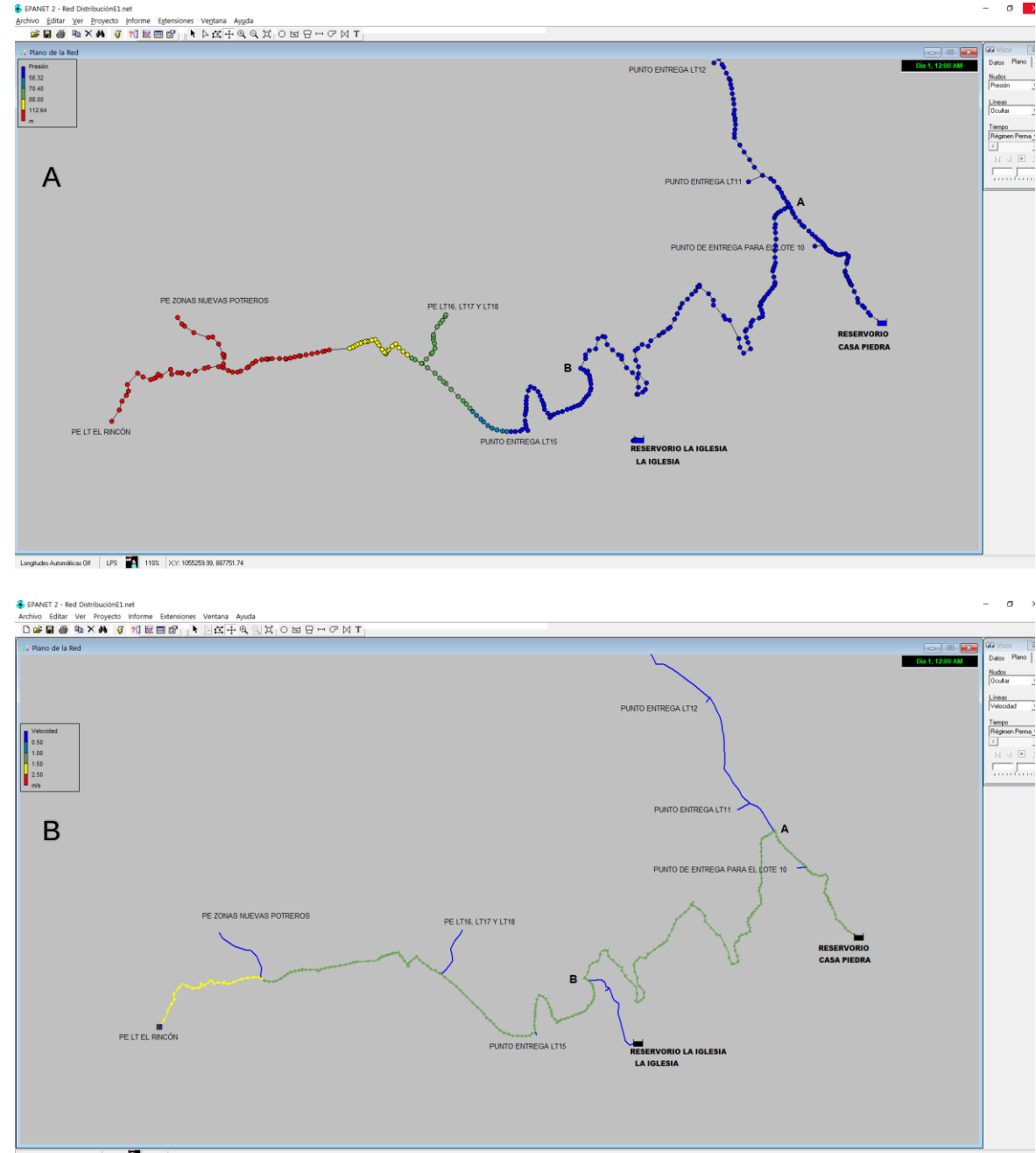
A



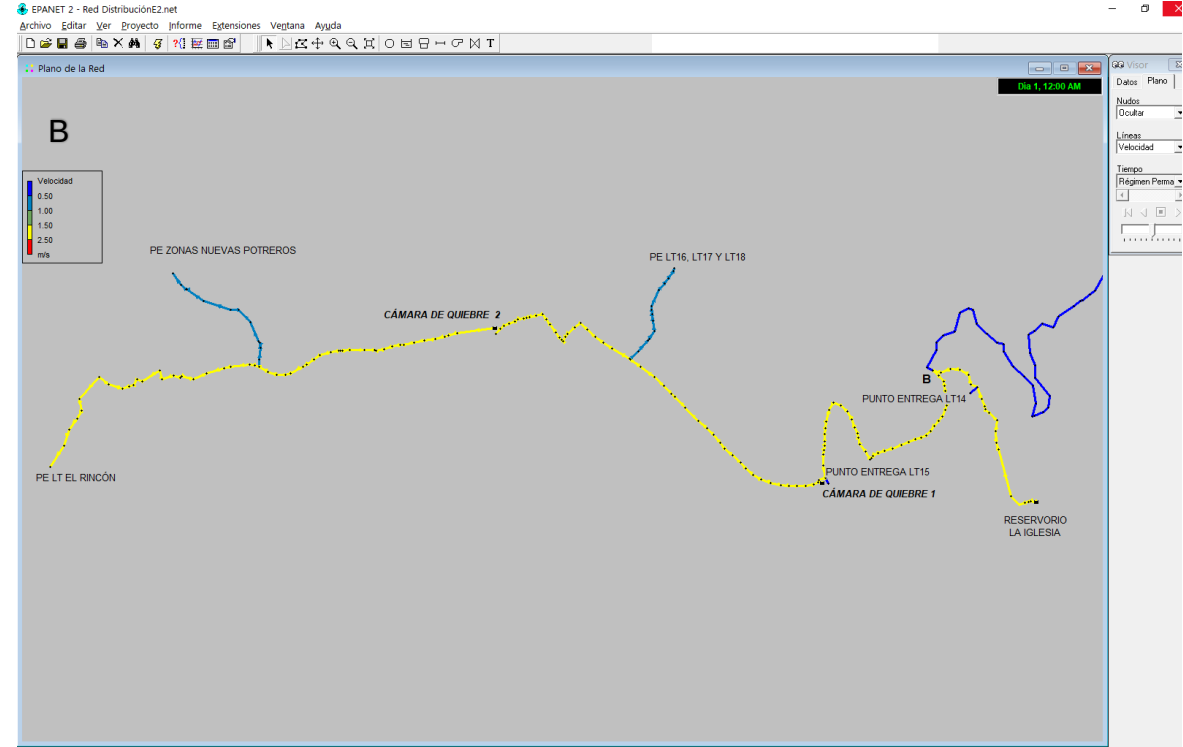
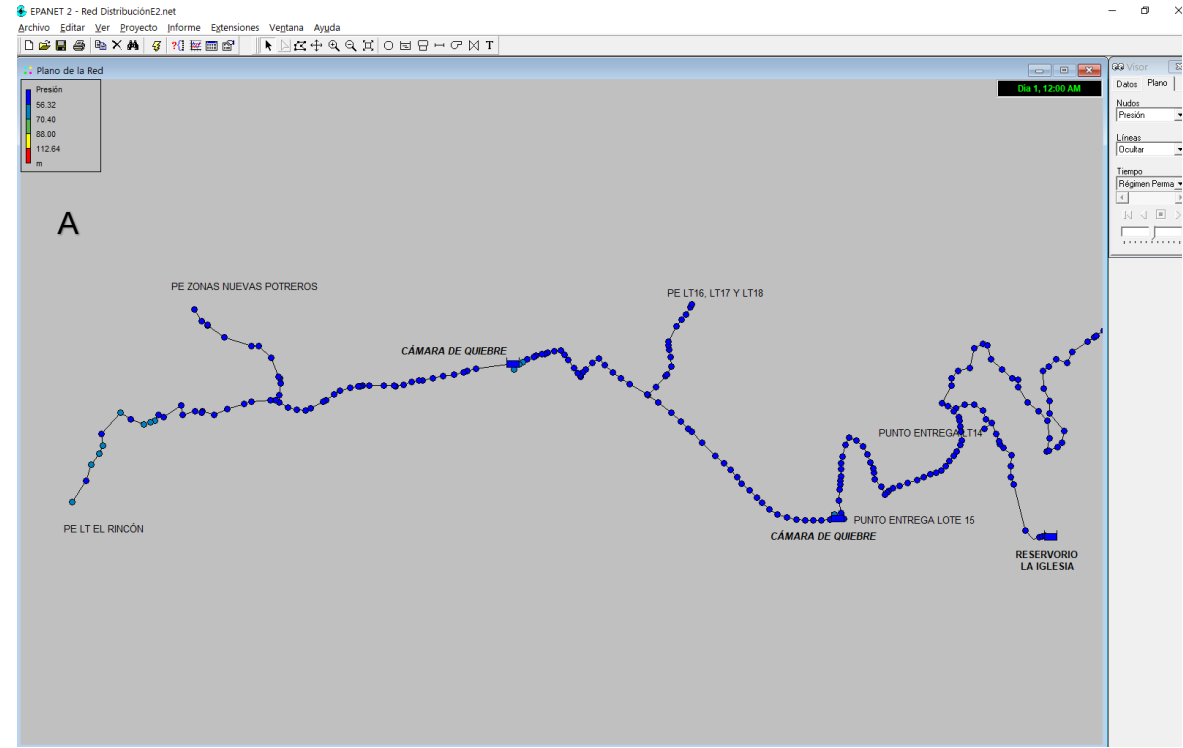
B



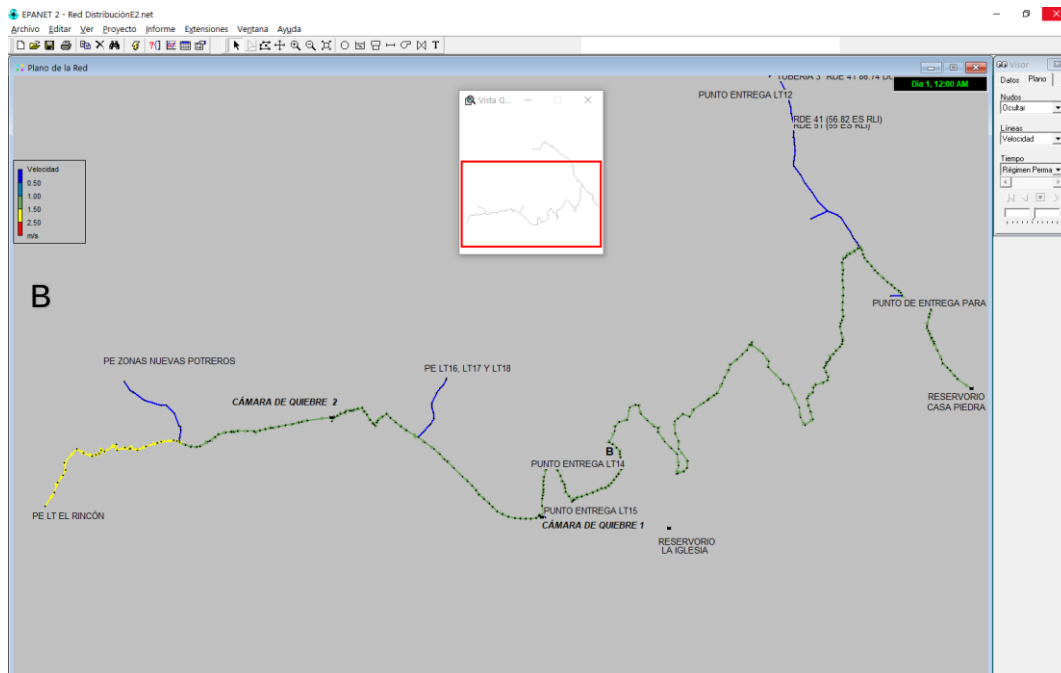
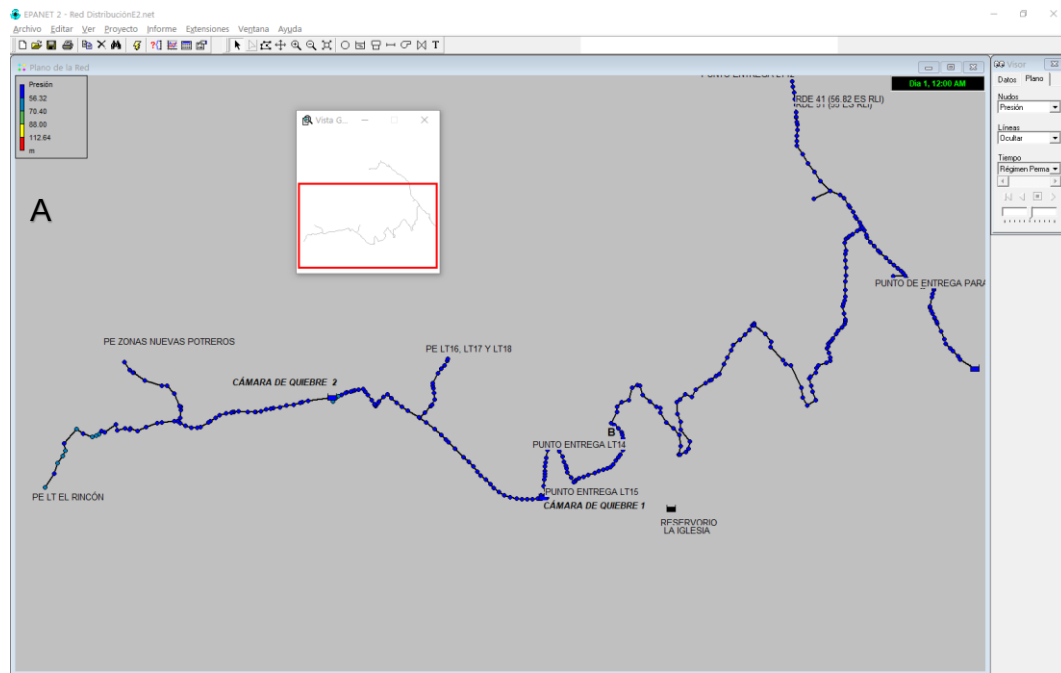
Anexo 6. Modelación estática (A) y dinámica de la red reservorio Casa Piedra - A -B - Lt15, 16, 17, 18, Rincón y Potreros.



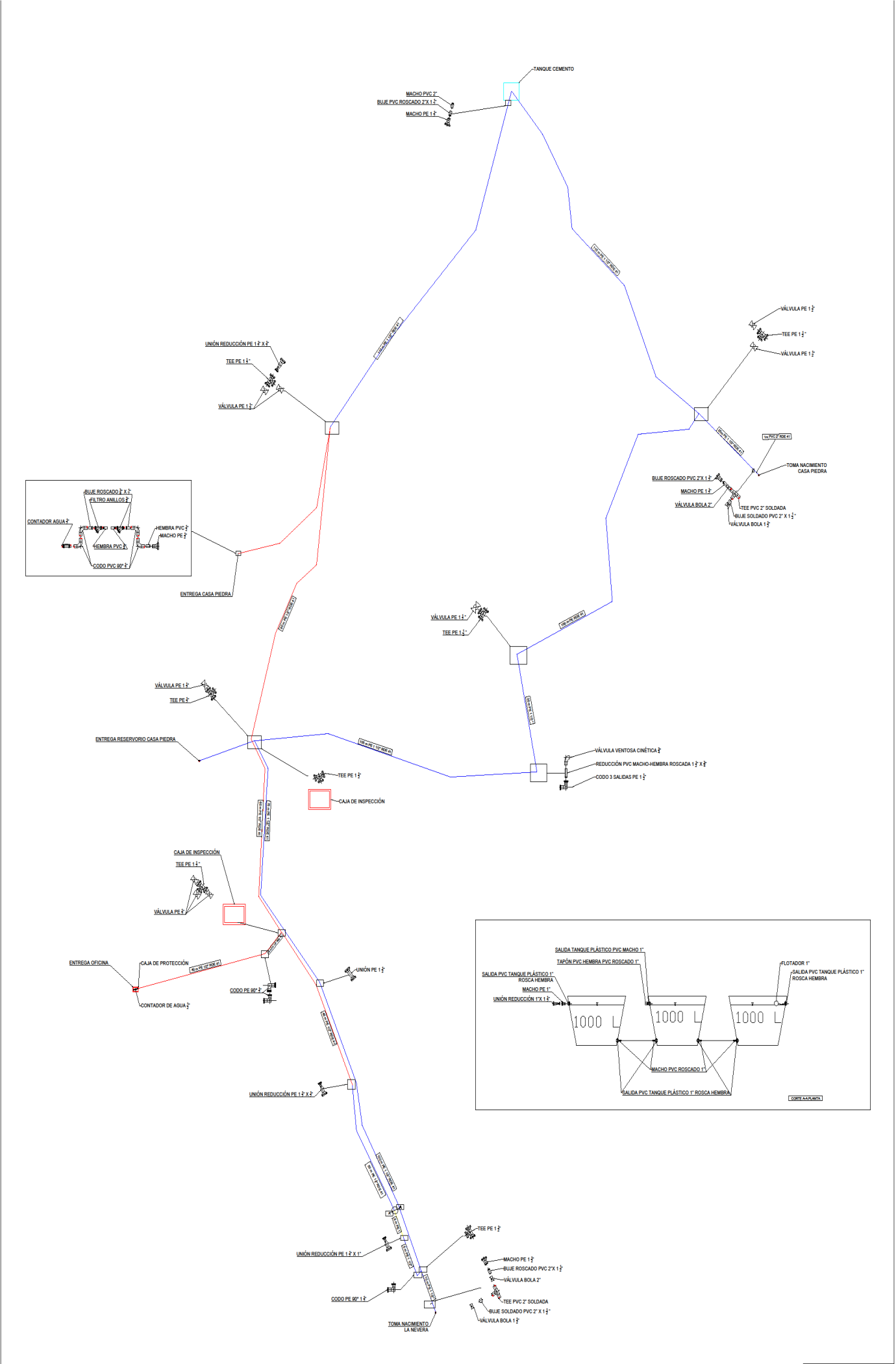
Anexo 7. Modelación estática (A) y dinámica (B) con dos cámaras de quiebre de la red La Iglesia - B - LT 14, 15, 16, 17, 18 - Potrereros - El Rincón.



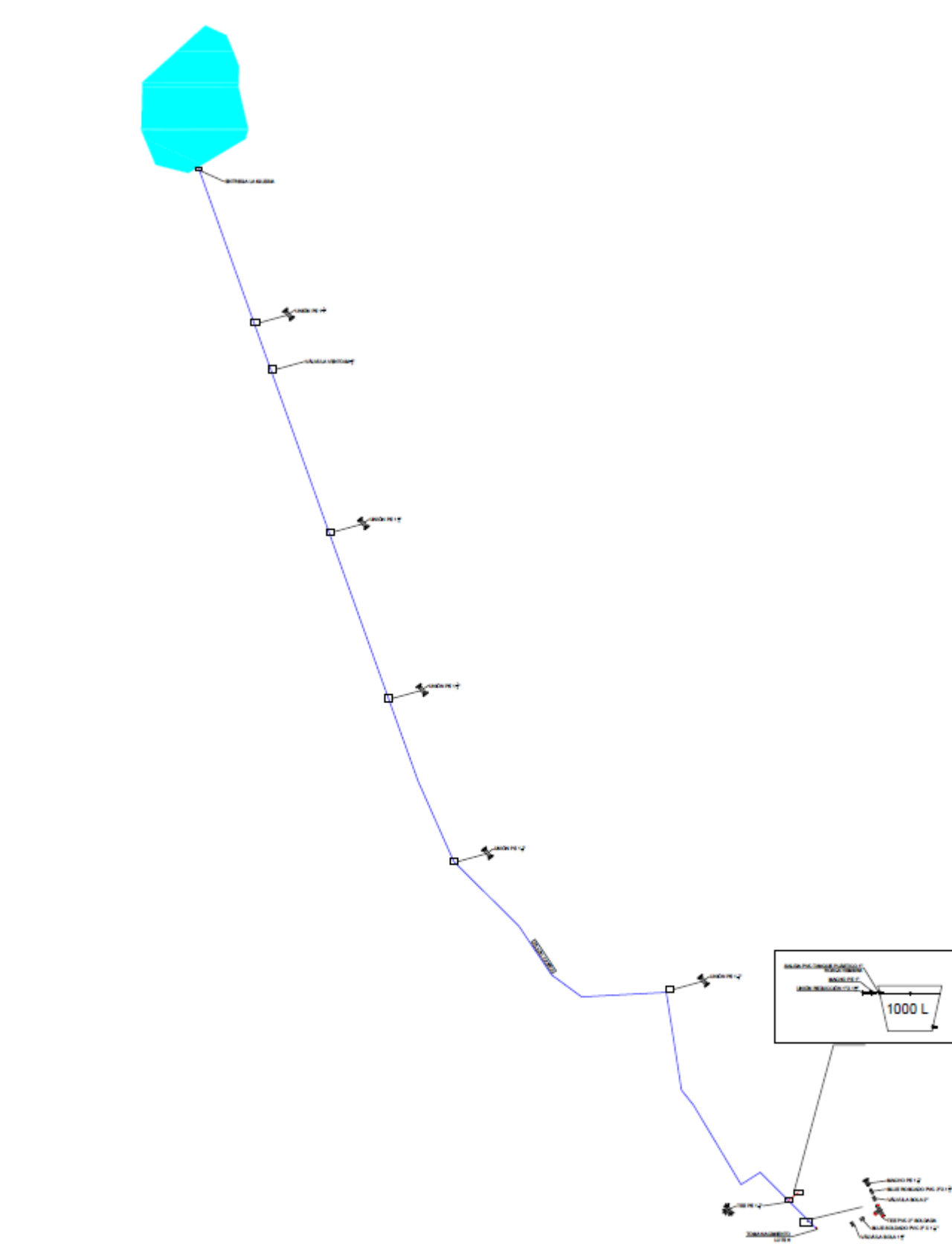
Anexo 8. Modelación *estática* (A) y *dinámica* (B) de red Casa Piedra - A - B - LT15, 16, 17, 18, Potreros y El Rincón con dos cámaras de quiebre.



Anexo 9. Plano de despiece de Red de Conducción Reservoirio Casa Piedra

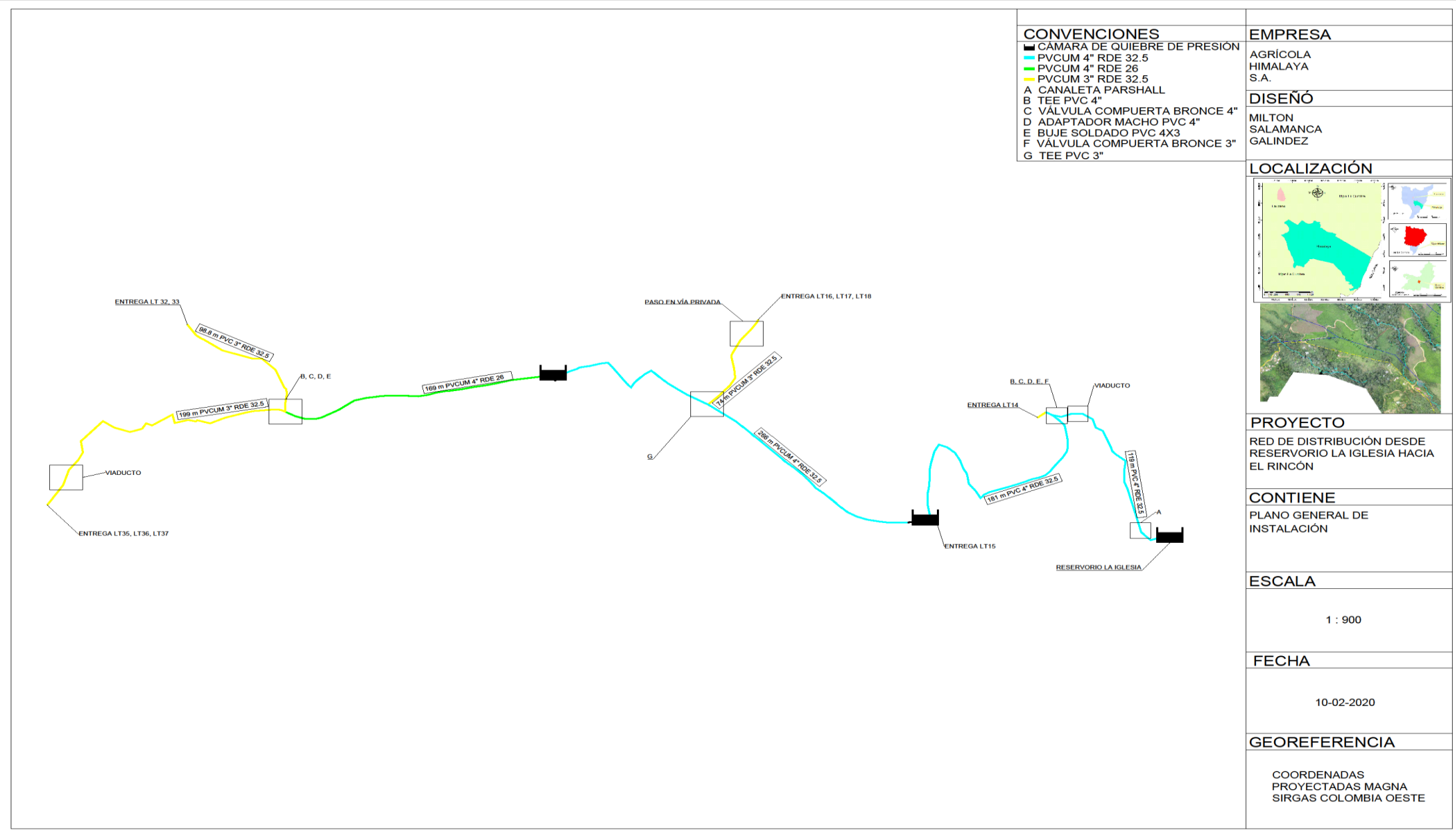


DISEÑO	LOCALIZACIÓN	CONTIENE	PROYECTO	OBSERVACIONES	GEOREFERENCIA
MILTON SALAMANCA GALINDEZ		PLANO DE INSTALACIÓN CONDUCCIÓN A RESERVOIRIO CASA PIEDRA # 1	RED DE CONDUCCIÓN A RESERVOIRIOS A CASA PIEDRA Y LA IGLESIA EN EL MARCO DEL PUEAA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS 84
EMPRESA		ESCALA	FECHA		
AGRICOLA HIMALAYA S.A.		1 : 400	09-12-2019		

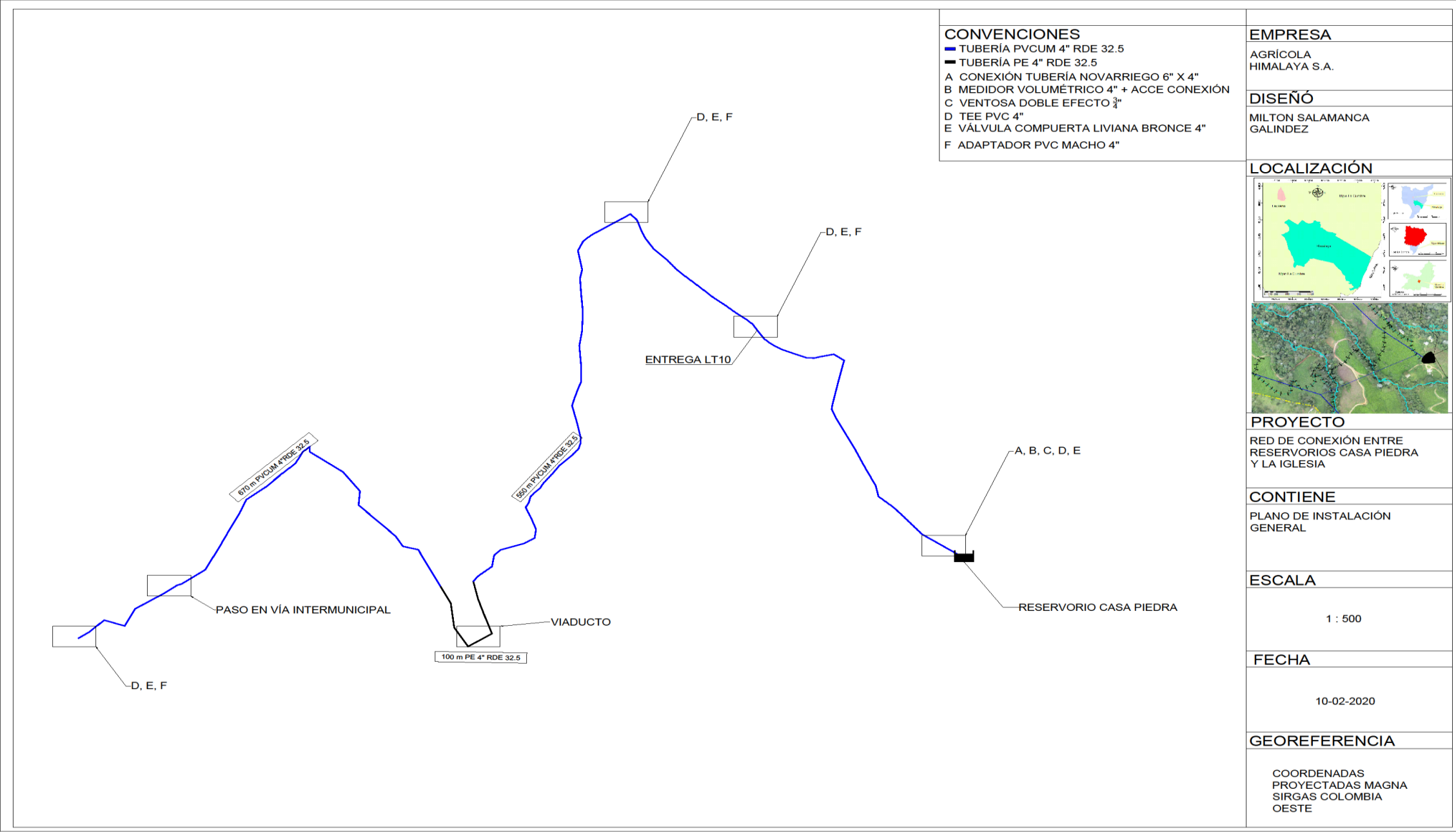


DISEÑO	LOCALIZACIÓN	CONTIENE	PROYECTO	OBSERVACIONES	GEOREFERENCIA
MILTON SALAMANCA GALINDEZ		PLANO DE INSTALACIÓN CONDUCCIÓN A RESERVOIRIO LA IGLESIA	RED DE CONDUCCIÓN A RESERVOIRIOS A CASA PIEDRA Y LA IGLESIA EN EL MARCO DEL PUEBLO		COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS 84
EMPRESA		ESCALA	FECHA		
AGRICOLA HIMALAYA S.A.		1 : 400	09-12-2019		

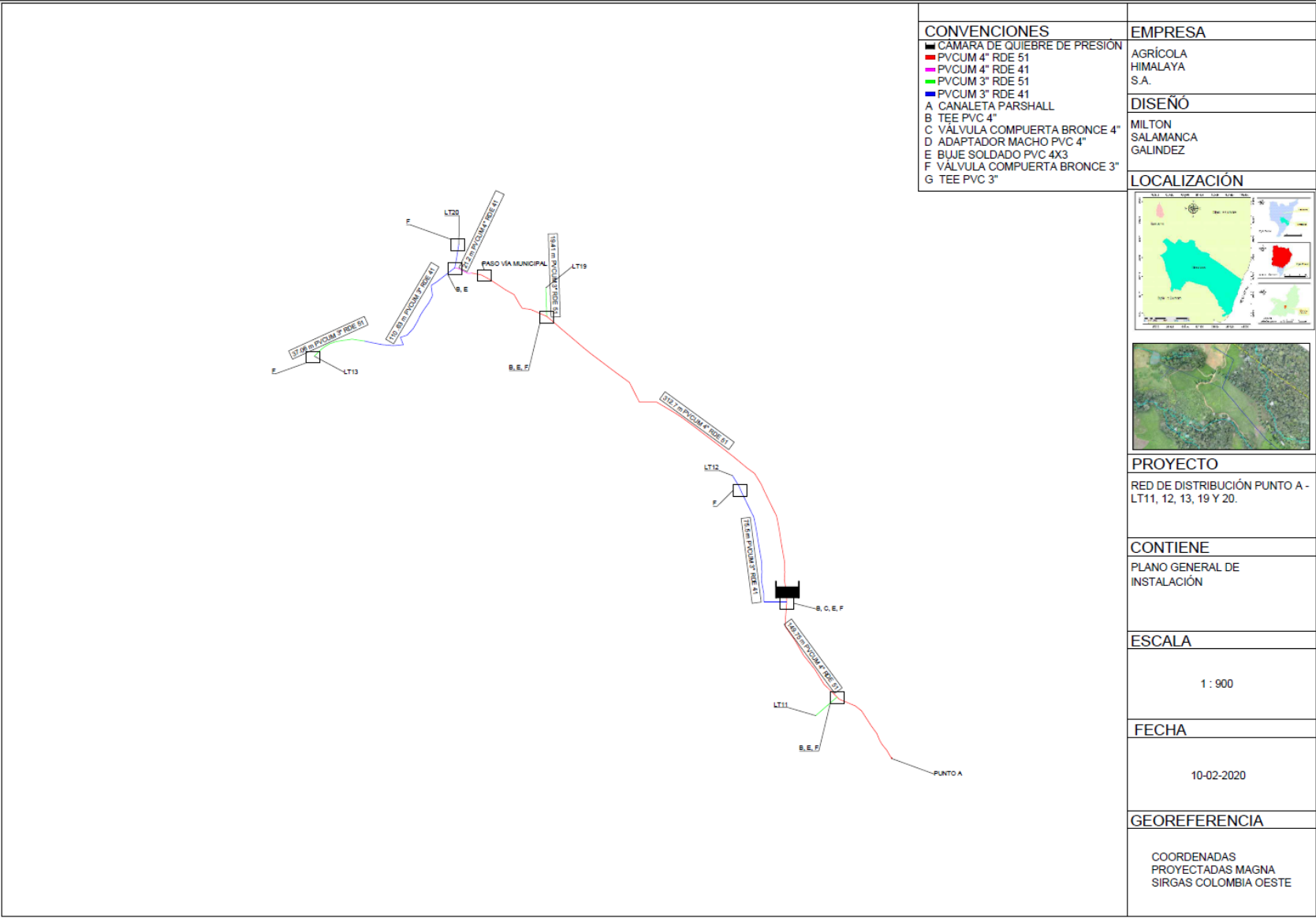
Anexo 11. Plano de despiece red de distribución La Iglesia - Lt14 - B - Lt15, 16, 16, 18, Rincón y Potreros



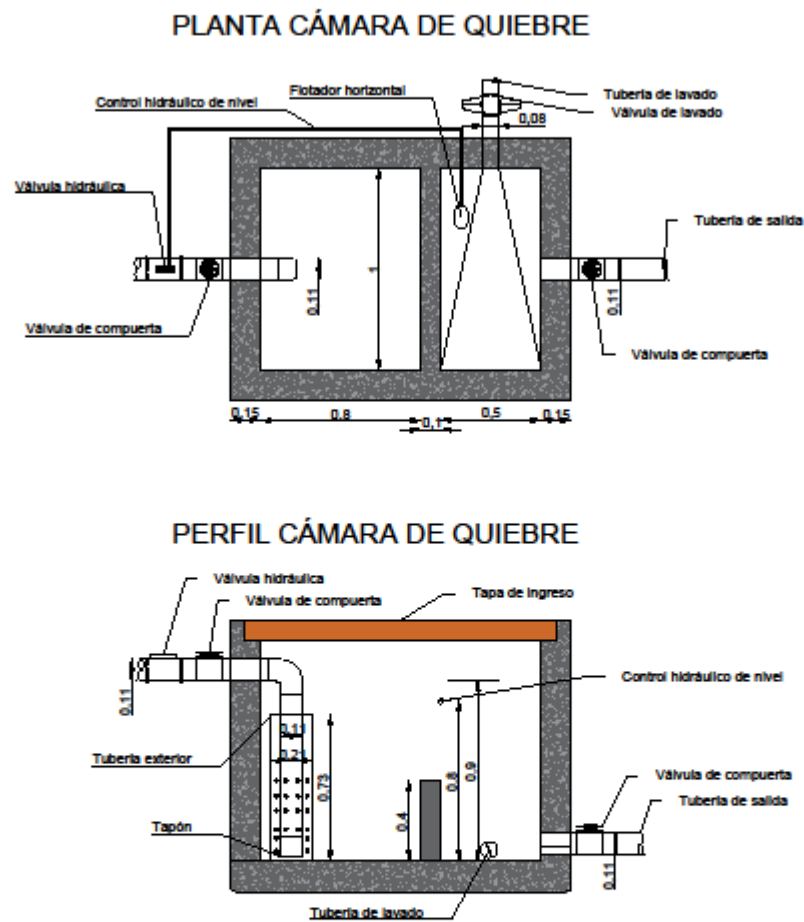
Anexo 12. Plano de despiece red de distribución Casa Piedra - Lt10 - A - B



Anexo 13. Plano de despiece red de distribución A - LT11, 12, 13, 19 Y 20.



Anexo 14. Vista en planta y perfil cámara de quiebre.



DISEÑO	CONTIENE	PROYECTO	OBSERVACIONES
MILTON SALAMANCA GALINDEZ	PLANO DE CÁMARAS DE QUIEBRE (VISTA EN PLANTA Y PERFIL)	RED DE CONDUCCIÓN A RESERVORIOS A CASA PIEDRA Y LA IGLESIA EN EL MARCO DEL PUEBLO	
EMPRESA	SISTEMA DE UNIDADES	FECHA	
AGRICOLA HIMALAYA S.A.	MÉTRICO	09-12-2019	

Fuente: (Corcho Romero & Duque Serna, 2005)