



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Diseño de un sistema integral de riego tecnificado para la granja del Romeral de la Universidad de Cuenca.

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Civil

Autores:

María Alejandra Lema Legarda
C.I.: 0350182218
alejandrall96@outlook.com

Shirley Johanna Valla Poma
C.I.: 0106698053
johav1@hotmail.es

Director:

Ing. M.Sc. Esteban Alonso Pacheco Tobar
C.I.: 0102114550

Cuenca – Ecuador

17 de agosto de 2021



Resumen

La Universidad de Cuenca cuenta con granjas experimentales para los procesos de formación en las áreas de ingeniería de producción, agronomía, y veterinaria. Para efectos de potenciar la agro-producción y, optimizar el recurso hídrico, es necesario mejorar la infraestructura para riego, así como, las obras complementarias. En este contexto, para la granja de El Romeral, se propone realizar un estudio de reingeniería, que permita a la Universidad de Cuenca, disponer de una propuesta técnica y económica, a través de la cual se podrá viabilizar la implementación de nuevas tecnologías de irrigación concebidas para optimizar el recurso hídrico, y maximizar la producción.

Para el estudio, se ha planteado: i) Caracterizar la zona de proyecto y los aspectos biofísicos, mediante el análisis de información disponible, y la determinación de las necesidades de agua para el proyecto; ii) Analizar alternativas de riego tecnificado, identificando diferentes escenarios de operación y manejo para la conducción, distribución, y aplicación de agua para varios métodos; y, iii) Diseñar una propuesta técnica integral para el sistema de irrigación, que contemple obras principales, complementarias, y presupuesto de la obra.

A través de este estudio, se pretende dar un importante aporte a los procesos institucionales para desarrollo sostenible de infraestructura y centros de experimentación, mediante lo cual, se verán fortalecidos los procesos formativos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, así como se potenciará las interrelaciones y colaboración académica con la Facultad de Ingeniería en los ámbitos de ingeniería de riego, agricultura irrigada, manejo de tierras y drenaje agrícola.

Palabras clave: Riego tecnificado, Métodos de riego, Sistemas de irrigación en zonas de montaña



Abstract

Universidad de Cuenca has experimental farms for training processes in the scientific fields of production and engineering. In order to promote agro-production and optimize water resources, it is necessary to improve the institutional infrastructure for irrigation, as well as the complementary infrastructure. In this context, for the “El Romeral” farm, it is proposed to carry out a reengineering study, which allows the Universidad de Cuenca, to have in the future, a technical and economic proposal for the implementation of new irrigation technologies, optimization of the water resource, and maximization of the production.

For the study, it has been proposed: i) to characterize the project area and the biophysical aspects, through the analysis of available information, and the determination of the water needs for the project; ii) to analyze irrigation technology alternatives, identifying different operation and management scenarios for the conduction, distribution, and application of water for various methods; and, iii) to design a comprehensive technical proposal for the irrigation system, which includes main and complementary engineering works, and the economic needs of the project..

Through this study, an important contribution is made to the institutional processes for the sustainable development of infrastructure and experimentation centers, through which the training processes of the Faculty of Agricultural Sciences will be strengthened, as well as the interrelationships and academic collaboration with the Faculty of Engineering in the fields of irrigation engineering, irrigated agriculture, land management and agricultural drainage.

Keywords: Irrigation technology, Irrigation methods, Irrigation systems in mountainous areas



Contenido

Resumen	1
Abstract	2
Contenido	3
Agradecimiento	11
Dedicatoria	12
Objetivos	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos	13
1. Introducción.....	14
1.1. Antecedentes.....	14
1.2. El riego tecnificado como alternativa para la sostenibilidad de la agroproducción en la región 14	
1.3. Consideraciones relevantes para sistemas de riego tecnificado.....	15
1.4. Determinación de las necesidades de agua para un sistema	15
1.5. Importancia del suelo como reservorio natural en un sistema de riego tecnificado.....	16
1.6. Determinación de la dosis de riego	17
1.7. Determinación de caudales para el sistema	18
2. Metodología para el estudio.....	19
2.1. Metodología general	19
2.2. Caracterización biofísica del área de estudio “Granja agrícola El Romeral”.....	20
3. Resultados y Discusión.....	27
3.1. Planificación del proyecto y sectorización general del área regable.....	27
3.2. Tipificación de la capacidad de retención de los suelos y otras propiedades hidrofísicas	28
3.3. Definición de las necesidades hídricas para el proyecto.....	28
3.4. Determinación de frecuencia de riego para el proyecto y dosis netas para el diseño.....	31
3.5. Caudales para el proyecto	31
3.6. Estudio de alternativas	32
3.6.1. Alternativa 1	33
3.6.2. Alternativa 2	39
3.7. Selección de la alternativa de diseño.....	42
3.8. Diseño del sistema integral de riego tecnificado para la alternativa seleccionada.....	43
3.8.1. Determinación de los caudales requeridos a nivel terciario y en la aplicación de agua de riego 44	



3.8.2.	Criterios generales para el dimensionamiento hidráulico para el sistema de distribución del proyecto	45
3.8.3.	Diseño de las líneas de distribución para cada sector	46
3.9.	Presupuesto para el proyecto de la alternativa seleccionada	50
4.	Conclusiones y Recomendaciones	53
5.	Referencias bibliográficas	56
6.	Anexos	58

Índice de Figuras

Fig. 1:	Ubicación de la granja El Romeral. Fuente: Laboratorio de Geomática de la Universidad de Cuenca.	21
Fig. 2:	Curvas de evapotranspiración de referencia y precipitación media.	23
Fig. 3:	Distribución de tipos de suelo en el área bajo riego.	24
Fig. 4:	Infraestructura de riego existente.	26
Fig. 5:	Sectorización de la zona de estudio.	27
Fig. 6:	Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 1.	33
Fig. 7:	Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 2.	34
Fig. 8:	Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 3.	35
Fig. 9:	Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 4.	36
Fig. 10:	Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 5.	37
Fig. 11:	Caudales de diseño para el sistema contemplando los reservorios de la alternativa 1.	39
Fig. 12:	Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 3 considerando un sistema de bombeo desde el reservorio 4.	40
Fig. 13:	Caudales de diseño para el sistema contemplando los reservorios de la alternativa 2.	42
Fig. 14:	Esquema hidrotécnico conceptual del sistema de distribución.	44
Fig. 15:	Esquema de distribución de líneas de aspersión y cintas de goteo.	45
Fig. 16:	Tuberías de ingreso al sistema.	46



Índice de Tablas

Tabla 1: Factor de reducción representativos "p" que han sido contemplados en el estudio. Fuente (Allen et al., 2006).....	17
Tabla 2: Clasificación de cultivos para el estudio de acuerdo a su especie y método de riego.....	20
Tabla 3: Precipitación media obtenida para los años 2017, 2018 y 2019.....	22
Tabla 4: Evapotranspiración de referencia ETo y ETo/2	22
Tabla 5: Distribución según el tipo de suelo en el área bajo riego.....	23
Tabla 6: Características de los reservorios habilitados para el proyecto	25
Tabla 7: Valores de capacidad de campo, punto de marchitez, conductividad hidráulica y TAW para el proyecto.....	28
Tabla 8: Agua realmente utilizable para los cultivos	28
Tabla 9: Necesidades hídricas del sector 1.....	29
Tabla 10: Necesidades hídricas del sector 2.....	30
Tabla 11: Necesidades hídricas del sector 3.....	30
Tabla 12: Necesidades hídricas del sector 4.....	30
Tabla 13: Necesidades hídricas del sector 5.....	31
Tabla 14: Dosis netas máximas calculadas para cada sector en comparación con la cantidad de agua realmente disponible establecida para el diseño de cada sector.	31
Tabla 15: Caudales continuos equivalentes.	31
Tabla 16: Caudales para el proyecto.	32
Tabla 17: Caudales de diseño para cada sector.	32
Tabla 18: Simulación de flujo de oferta – demanda para los reservorios contemplados en la alternativa 1 (opción 1).	38
Tabla 19: Simulación de flujo de oferta - demanda para los reservorios contemplados en la alternativa 1 (opción 2).	38
Tabla 20: Simulación de flujo de oferta - demanda para los reservorios contemplados en la alternativa 2 (opción 1).	41
Tabla 21: Simulación de flujo de oferta - demanda para los reservorios contemplados en la alternativa 2 (opción 2).	41
Tabla 22: Número de cintas de goteo y sus caudales respectivos – Sector 1.....	47
Tabla 23: Aspersores en funcionamiento de acuerdo a su capacidad – Sector 1.....	48
Tabla 24: Número de cintas de goteo y sus caudales respectivos – Sector 2.....	48
Tabla 25: Número de orificios y sus caudales respectivos – Sector 2.....	48
Tabla 26: Número de cintas de goteo y sus caudales respectivos – Sector 3.....	48
Tabla 27: Aspersores en funcionamiento de acuerdo a su capacidad – Sector 3.....	49



Tabla 28: Número de cintas de goteo y sus caudales respectivos – Sector 4.....	49
Tabla 29: Número de cintas de goteo y sus caudales respectivos – Sector 5.....	49
Tabla 30: Número de orificios y sus caudales respectivos – Sector 5.....	49
Tabla 31: Longitud de tubería, diámetros nominales y rango de presiones para la distribución primaria y secundaria de cada sector. Para el sector 2, se obtienen presiones mayores a las contempladas, debido al desnivel que existe entre el reservorio 2 y el punto más bajo de las distribuciones.	50
Tabla 32: Presupuesto referencial para la alternativa seleccionada.....	52
Tabla 33: Ficha técnica de cultivos para el sector 1	73
Tabla 34: Ficha técnica de cultivos para el sector 2	74
Tabla 35: Ficha técnica de cultivos para el sector 3	75
Tabla 36: Ficha técnica de cultivos para el sector 4	76
Tabla 37: Ficha técnica de cultivos para el sector 5	77



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

María Alejandra Lema Legarda en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Diseño de un sistema integral de riego tecnificado para la granja del Romeral de la Universidad de Cuenca**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de agosto de 2021.

María Alejandra Lema Legarda

C.I.: 0350182218



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Shirley Johanna Valla Poma en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Diseño de un sistema Integral de riego tecnificado para la granja del Romeral de la Universidad de Cuenca**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de agosto de 2021.

Shirley Johanna Valla Poma

C.I.: 0106698053



Cláusula de Propiedad Intelectual

María Alejandra Lema Legarda, autora del trabajo de titulación “Diseño de un sistema integral de riego tecnificado para la granja del Romeral de la Universidad de Cuenca”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 17 de agosto de 2021.

María Alejandra Lema Legarda

C.I.: 0350182218



Cláusula de Propiedad Intelectual

Shirley Johanna Valla Poma, autora del trabajo de titulación “**Diseño de un sistema integral de riego tecnificado para la granja del Romeral de la Universidad de Cuenca**”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 17 de agosto de 2021.

Shirley Johanna Valla Poma

C.I.: 0106698053



Agradecimiento

A nuestra familia, por su apoyo incondicional brindado en esta época de culminación de nuestros estudios. A nuestro director, Ing. Esteban Pacheco, por su acompañamiento, consejo y enseñanzas otorgadas para el desarrollo de este trabajo. Al personal académico y de investigación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, especialmente al Ing. Oswaldo Galarza y al Ing. Mateo López, por su predisposición al momento de iniciar este trabajo de titulación.

Alejandra y Johanna



Dedicatoria

Dedico este trabajo de manera especial a mis padres, pues han sido ellos quienes constantemente me han enseñado a luchar por mis sueños, quienes siempre me han brindado su confianza, su cariño y el espíritu necesario para culminar esta etapa de mi vida. A mi hermano y hermana, por su apoyo incondicional en el transcurso de estos años de estudio. A mis familiares más cercanos, en especial a mi tío por creer siempre en mí y por inculcarme un cariño especial a la ingeniería. A todas mis amigas, que con los años se convirtieron en mis hermanas, su llegada a mi vida ha sido una de mis fuentes de energía. A todas las personas que me han acompañado y me han ayudado a formarme personal y académicamente.

María Alejandra Lema Legarda

A todos aquellos que hicieron posible culminar con éxito este largo pero fructuoso camino. Indudablemente, debo destacar la labor de mis padres quienes han sido mi inspiración para lograr este objetivo; su amor incondicional, su apoyo constante, sus incansables esfuerzos y sus lecciones de vida han hecho de mí la persona que hoy soy. No puedo estar más que orgullosa de ser su hija. ¡Gracias Papitos!

A mi familia y amigos, quienes han sabido estar conmigo en las buenas y en las malas, disfrutando mis éxitos como si fueran los suyos y animándome en momentos difíciles. A Alejandra, quien ha sido mi compañera durante este viaje, gracias por tu paciencia, acogida y amistad; te agradezco infinitamente por los momentos vividos y las experiencias ganadas. Finalmente, a mis profesores quienes me han formado en la parte académica.

Parte del viaje es el final, pero también la oportunidad de emprender uno nuevo. Gracias totales.

Shirley Johanna Valla Poma



Objetivos

Objetivo general

Diseñar una propuesta para un sistema integral de riego tecnificado para la Granja de El Romeral de la Universidad de Cuenca.

Objetivos específicos

- Caracterizar los aspectos biofísicos y de infraestructura para la zona de estudio.
- Realizar un análisis de alternativas de ingeniería de riego.
- Realizar el diseño de un sistema integral de riego tecnificado.



1. Introducción

1.1. Antecedentes

La Universidad de Cuenca como institución comprometida con los objetivos de desarrollo, la calidad académica, y la formación profesional, a través del Departamento de Ingeniería Civil y la Dirección de Planificación UC (2019), ha generado directrices para implementar acciones de impacto efectivo y con proyección social para mejorar la calidad de vida, la sostenibilidad ambiental, y la seguridad alimentaria. Como parte de las acciones contempladas, se identifica la mejora de infraestructura y equipamiento para las granjas experimentales de Irquis, El Romeral, y Nero, centros experimentales que al momento adolecen de proyectos tecnificados para dotación y manejo de agua, y que, al constituirse en escenarios fundamentales para formación profesional, requieren diseños para sistemas y componentes que permitan el manejo, la adaptación y desarrollo de tecnologías.

De esta manera, con el presente estudio, se ha realizado una propuesta integral para riego tecnificado en la granja de El Romeral, contemplándose los aspectos técnicos relacionados con las metodologías para determinación de requerimientos, así como, las tecnologías para diseño de distribución y aplicación de agua de riego. Con el presente estudio se da un aporte al desarrollo de nuevos y mejores espacios institucionales para los procesos de formación profesional, así como, para generación de nuevo conocimiento en áreas relacionadas con la ingeniería de riego, la agricultura irrigada y el drenaje agrícola, logrando, a través de experimentación, evaluación y adaptación de métodos, la optimización del recurso hídrico, así como, el aumento de las eficiencias de aplicación de riego superficial y presurizado.

1.2. El riego tecnificado como alternativa para la sostenibilidad de la agroproducción en la región

Debido a que la producción agropecuaria bajo riego, en comparación con otros aprovechamientos, demanda ingentes cantidades de agua, el ser humano se ha esforzado para desarrollar conocimiento y mejores tecnologías para aprovechar al máximo el recurso hídrico. De manera especial, la socioeconomía relacionada a procesos agroproductivos del área rural en zonas de montaña presenta indicadores de baja productividad, y limitadas capacidades técnicas para afrontar retos de sostenibilidad en pos de seguridad alimentaria. En estas zonas, la población es vulnerable a la escasez de alimentos, situación evidenciada con la reciente emergencia sanitaria COVID-19. De manera general, se adolece de condiciones adecuadas en cuanto a: infraestructura básica para aprovechamiento hidráulico, propuestas para una producción planificada y variada, manejo sostenible de tierras, y adaptación y uso eficiente de nuevas tecnologías.

Concretamente en la región, el riego superficial presenta eficiencias menores a 40% (Cisneros & Pacheco, 1999; Cisneros et al., 2002), mientras que el riego presurizado tiene eficiencias menores a 60% (Cisneros & Pacheco, 2005). Estos valores se encuentran muy por debajo de los recomendados y son indicadores incuestionables de la problemática en torno al uso de tecnologías y manejo.

En cuanto a procesos de transferencia y sostenibilidad, los estudios realizados en la región (Sucoshañay et al., 2005; Cisneros & Pacheco, 2007) revelan que la intervención en el diseño de sistemas, la tecnificación, y el acompañamiento a los procesos de transferencia y capacitación, impactarían considerablemente en la implementación de tecnologías, métodos alternativos, y un mejor desempeño de la agroproductividad.



1.3. Consideraciones relevantes para sistemas de riego tecnificado

Un sistema de riego “es el conjunto de instalaciones técnicas que garantizan la organización y realización del mejoramiento de tierras mediante el riego” (Aidarov, Golovanoy & Mamaéy, 1985). La ingeniería de riego tecnificado se deberá dirigir entonces a entregar una cantidad dada de agua, en función de las necesidades establecidas, logrando eficiencias de aplicación según la tecnología empleada, así como, eficiencias en cuanto a agua requerida, minimizando escorrentía y percolación.

Los tipos de riego más usuales en la región son: aspersión y surcos, siendo el goteo una tecnología menos empleada. Las diferencias más notorias entre los métodos indicados se describen en términos de reducción de pérdidas debidas a infiltración-escorrentía excesiva (problema que se presenta en surcos y en menor medida en aspersión), y reducción de pérdidas debidas a agentes de orden atmosférico como viento y evaporación (problema que se da en aspersión). De esta manera, en consideración de la literatura especializada se sugiere como eficiencias de aplicación aceptables para riego tecnificado las siguientes (Cisneros et al., 2002):

- Riego superficial (surcos) entre 60% y 65%.
- Riego superficial (surcos cerrados con aplicación por pulsos) entre 65% y 70%.
- Aspersión convencional entre 70% y 80%.
- Goteo con instalaciones convencionales en el orden de 90%.

De manera particular para riego por surcos se destaca la importancia que tienen las prácticas de manejo (experiencia), y los procedimientos alternativos que, mejoran la eficiencia de aplicación y disminuyen escorrentía y percolación. En este sentido, se destaca la implementación de tuberías con compuerta y la entrega de caudales mediante pulsos.

1.4. Determinación de las necesidades de agua para un sistema

Las necesidades de agua para el sistema se establecen en función del requerimiento de los cultivos (evapotranspiración según la fisiología) y en función del aporte que potencialmente se tendría como precipitación. Para la determinación de las necesidades globales en un sistema, la literatura técnica contempla principalmente:

- a) La evapotranspiración como parámetro referido a la cantidad de agua que los cultivos expulsan a la atmósfera y consumen desde sus tejidos, tanto por procesos de evaporación y de transpiración, considera principalmente:
 - Factores climáticos que condicionan niveles de evaporación y transpiración.
 - Grado de humedad y la habilidad del suelo para conducir humedad.
 - Tipo, fisiología del cultivo y fase de desarrollo.
- b) La evapotranspiración es estimada a partir del cálculo de la evapotranspiración de referencia - ET_o - que tiene un cultivo establecido y que ocurre sin presencia de déficit de agua. Según la FAO (2006a), corresponde a “un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0,23. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo”. Para el cálculo de la ET_o , la FAO ha recomendado como método único a ser considerado, el método FAO-Penman-Monteith basado



en parámetros físicos, fisiológicos y climáticos (radiación, temperatura media del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento).

- c) El efecto particular de las características del cultivo sobre sus necesidades hídricas determina los niveles de evapotranspiración del cultivo ET_c que se calcula con base a la ET_o y mediante el coeficiente de cultivo k_c que representa la relación entre la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración de cultivo.

$$ET_c = k_c \times ET_o \quad (1)$$

donde:

ET_c : Evapotranspiración de cultivo (mm/d)

k_c : Coeficiente de cultivo

ET_o : Evapotranspiración de referencia (mm/d)

- d) En cuanto al aporte por precipitación, para un sistema de riego tecnificado se puede considerar un aporte dado por la denominada “precipitación efectiva”, la cual se define como “la fracción de la precipitación de garantía de ocurrencia seleccionada que es realmente utilizada por los cultivos, luego de haberse descontado las pérdidas por: intercepción, evaporación, y escorrentía directa” (Pacheco & Carrillo, 2018). Para su cálculo, en estudios convencionales, se puede emplear el método empírico que contempla un determinado porcentaje de la precipitación total (P_{tot}):

$$P_{eff} = a \times P_{tot} \quad (2)$$

donde:

P_{eff} : Precipitación efectiva (mm/d)

a : Fracción con valores desde 0.7 cuando no se quiere contar con un aporte sustancial de la precipitación (zonas secas) hasta valores de 0.9 cuando se requiere contemplar un aporte sustancial (zonas húmedas).

P_{tot} : Precipitación total (mm/d)

- e) Si la evapotranspiración de cultivo ET_c es mayor a la precipitación efectiva (P_{eff}) del mes correspondiente, entonces la necesidad neta diaria de agua para riego en lámina y en volumen NR será:

$$NR = (ET_c - P_{eff}) \quad mm/d \quad (3)$$

$$NR = (ET_c - P_{eff}) \times 10 \quad m^3/d/ha \quad (4)$$

1.5. Importancia del suelo como reservorio natural en un sistema de riego tecnificado

Para el diseño de dosis y frecuencias en un sistema de riego tecnificado, es fundamental considerar el suelo que, con base a su textura y su porosidad, actúa como un regulador del contenido de agua disponible

en la zona radicular. En este sentido adquiere importancia el establecimiento del rango de humedad dentro del cual se podrá desarrollar un cultivo en óptimas condiciones. Para ello se establece como límite superior el contenido de humedad luego de que se ha dado el drenaje natural por gravedad (humedad de capacidad de campo θ_{FC}), y como límite inferior el contenido de humedad a partir del cual el sistema radicular se ve imposibilitado de extraer agua del suelo (humedad de punto de marchitez θ_{WP}).

Cuando estas humedades se expresan en porcentaje referido a volumen de suelo, es posible determinar cantidades de agua en términos de láminas equivalentes, las cuales, referidas a profundidades de interés, permiten establecer dos definiciones importantes (Pacheco & Carillo, 2018):

- a) Cantidad de agua almacenable en un metro de profundidad de suelo TAW (Total Available Water)
- b) Agua realmente disponible en la zona radicular RAW (Real Available Water)

De esta manera, en un metro de profundidad de un determinado suelo se tiene que, la cantidad de agua almacenable (mm) entre los límites de capacidad de campo y punto de marchitez es:

$$TAW = 10 \times (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \quad (5)$$

Así mismo, si ahora se considera la profundidad de la zona radicular D (m), se tiene que la cantidad de agua (mm) disponible realmente para un determinado cultivo obedece a la relación:

$$RAW = p \times 10 \times (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \times D \quad (6)$$

En esta relación, el término p es un factor de reducción que permite garantizar la disponibilidad de agua sin generar ningún estrés hídrico en el cultivo, y que se define de acuerdo a los siguientes valores (Allen et al., 2006):

Descripción	Factor p
Cultivos sensibles o alta necesidad de rendimiento	0.2 - 0.3
Cultivo en general o requerimiento de producción normal	0.5 - 0.6
Cultivos resistentes a la falta de agua	0.6 - 0.8

Tabla 1: Factor de reducción representativos "p" que han sido contemplados en el estudio. Fuente (Allen et al., 2006)
Note la diferencia que existe entre los cultivos considerados como sensibles y cultivos considerados como resistentes a la falta de agua. Normalmente, para requerimientos de producción normal se puede tomar el valor de 0.5.

1.6. Determinación de la dosis de riego

La determinación de la dosis de riego, es decir la cantidad de agua a ser aplicada por un sistema, debe contemplar: i) la frecuencia de aplicación según la necesidad diaria (ecuaciones 3 y 4), ii) las eficiencias de aplicación según el método y tecnología a emplearse (pérdidas), y iii) la capacidad de almacenamiento establecida para el suelo en términos de agua fácilmente utilizable RAW .

La máxima frecuencia $F_{máx}$ a contemplarse en un sistema dependerá de la cantidad de agua disponible en el suelo RAW y la necesidad diaria:



$$F_{m\acute{a}x} = \frac{RAW}{ET_c - P_{eff}} \quad (7)$$

Sin embargo, es más conveniente considerar frecuencias que sean cómodas para el manejo y una administración del sistema. De esta manera, a partir del establecimiento de una frecuencia adecuada F que facilite el manejo estandarizado, se tiene los siguientes parámetros y criterios técnicos:

- a) Dosis neta I_n (mm). - Corresponde a la lámina de agua que llegara a la zona radicular luego de haberse dado las pérdidas contempladas. Es variable según el mes o periodo en el que se calcule y obedece a la relación:

$$I_n = (ET_c - P_{eff}) \times F \quad (8)$$

- b) La dosis neta no debe ser mayor que la cantidad de agua establecida como realmente disponible RAW .
- c) Dosis bruta I_g (mm). - Corresponde a la lámina de agua que el sistema deberá otorgar incluyendo la eficiencia E_f correspondiente a las pérdidas debidas al método de riego:

$$I_g = \frac{I_n}{E_f} \quad (9)$$

1.7.Determinación de caudales para el sistema

Finalmente, una vez que se han definido los parámetros técnicos relacionados con dosis y frecuencias, corresponde la determinación de los caudales que tipifican al sistema. Según la necesidad global del sistema o de acuerdo a la necesidad por unidad de superficie a ser regada, se tienen los siguientes criterios y parámetros técnicos de caudal (Pacheco & Carrillo, 2018):

- a) Caudal continuo equivalente. - Se calcula con base a la superficie a ser cubierta por el sistema, las necesidades diarias y una eficiencia imputada a pérdidas en el sistema y en la conducción. Este parámetro es calculado para cada mes y sirve para establecer el caudal mínimo a ser extraído de la fuente. Puede requerir ser aumentado por condiciones de manejo y administración.
- b) Caudal característico. - Corresponde al caudal continuo equivalente máximo calculado por unidad de superficie (normalmente se expresa en l/s/ha).



2. Metodología para el estudio

2.1. Metodología general

Para realizar el estudio se ha procedido con cuatro paquetes de trabajo (WP) de acuerdo a:

1) *WP1. Análisis y validación de información disponible:*

Contempló actividades relacionadas con la recopilación y análisis de información secundaria de la zona del proyecto referida a aspectos biofísicos como: clima, hidrología, propiedades hidrofísicas de suelos, topografía, usos del terreno, fisiología de cultivos y/o rotaciones básicas, entre otros. Para esto se empleó como referencia de base la Zonificación Agroecológica del Austro Ecuatoriano (Dercon et al., 1998).

Para la caracterización de las condiciones meteorológicas y climatológicas de precipitación, temperatura y velocidad de viento se usó información disponible para los años 2017, 2018 y 2019 de la estación meteorológica El Romeral (Anexo 1), Laboratorio de Geomática de la Universidad de Cuenca.

Se incluyó además actividades para el levantamiento de información relacionada con la infraestructura de riego existente. y como complemento, con base al mapa de cobertura y a la información geográfica de la zona de estudio, se dispuso de una configuración de cultivos actualizada (Tabla 2).

Método de riego	Especie	Cultivo
Goteo	Frutales	Aguacate
		Reina Claudia
		Naranjilla
		Uvilla
		Higo
		Durazno
		Cítricos
		Manzana
		Café
		Tomate de árbol
		Mora
		Chirimoya
		Pimiento
		Papaya
		Limón
Goteo	Cultivos bajo Invernadero	
	Cultivos de ciclo corto	
	Plantas medicinales	
	Hortalizas	
Aspersión	Herbáceas	Pasto natural
		Alfalfa
Surcos	Leguminosas	Fréjol
	Caña de azúcar	



Tabla 2: Clasificación de cultivos para el estudio de acuerdo a su especie y método de riego.

Se puede observar que para un considerable número de cultivos dentro de la zona de estudio se ha previsto el método de riego por goteo. De la revisión se establece que el área con cultivos no superaría el 50% del área total de la granja.

2) *WP2. Determinación de las necesidades de agua para el proyecto*

Para el estudio, se definió el área efectiva para riego (área regable) en consideración de la información de base recopilada y generada, y que permitió delimitar tanto la superficie a ser implementada con sistemas de aplicación de agua, así como, las necesidades hídricas por cultivos. Se realizó el estudio para establecer la evapotranspiración de referencia mediante el método de la FAO-Penman-Monteith (FAO, 2006a), la evapotranspiración de cultivos, y la precipitación efectiva correspondiente. Con esta información, en consideración de las características y fisiología de los cultivos, así como, otros usos previstos para el proyecto, se estableció las necesidades de agua, los caudales ficticios continuos equivalentes de los meses críticos y el caudal característico para la zona.

3) *WP3. Estudio de alternativas de diseño y definición de un esquema hidrotécnico para el proyecto*

Se planteó dos alternativas de diseño a nivel de prefactibilidad que fueron formuladas en consideración de los siguientes criterios:

- Fuentes de agua para el aprovechamiento hídrico y su disponibilidad.
- Requerimientos de almacenamiento y manejo integral de reservorios.
- Esquemas de distribución en la zona de riego.

Las alternativas planteadas fueron analizadas de acuerdo a: escenarios de funcionamiento y/o desempeño hidráulico, condicionantes de manejo – operación, y aspectos económicos, aspectos que sirvieron de base para una definición integral del esquema hidrotécnico óptimo para el proyecto.

4) *WP4. Diseño del sistema integral de riego tecnificado*

Sobre la alternativa y el esquema hidrotécnico definido, se realizó el diseño del sistema y de sus componentes, contemplándose para ello aspectos como: hidráulicos y de control, de distribución, manejo de reservorios, obras complementarias y obras menores, métodos de aplicación, entre otros. Finalmente, para el diseño se estableció un presupuesto referencial.

2.2. Caracterización biofísica del área de estudio “Granja agrícola El Romeral”

La granja El Romeral se encuentra ubicada en el km 10 de la vía Paute – Guachapala, en la provincia del Azuay entre la Quebrada Shuscurren y el cauce del río Paute. Entre las cotas 2160 msnm y 2292 msnm. La granja tiene aproximadamente 31 ha, en un terreno con una topografía accidentada que presenta pendientes del orden del 15% (área bajo riego), y pendientes del orden del 30% (zona forestal – área no intervenida).

La información relacionada con la cobertura que se obtuvo del Laboratorio de Geomática de la Facultad

de Ciencias Agropecuarias, fue procesada para disponer de un mapa que permite distinguir su variabilidad dentro del proyecto.

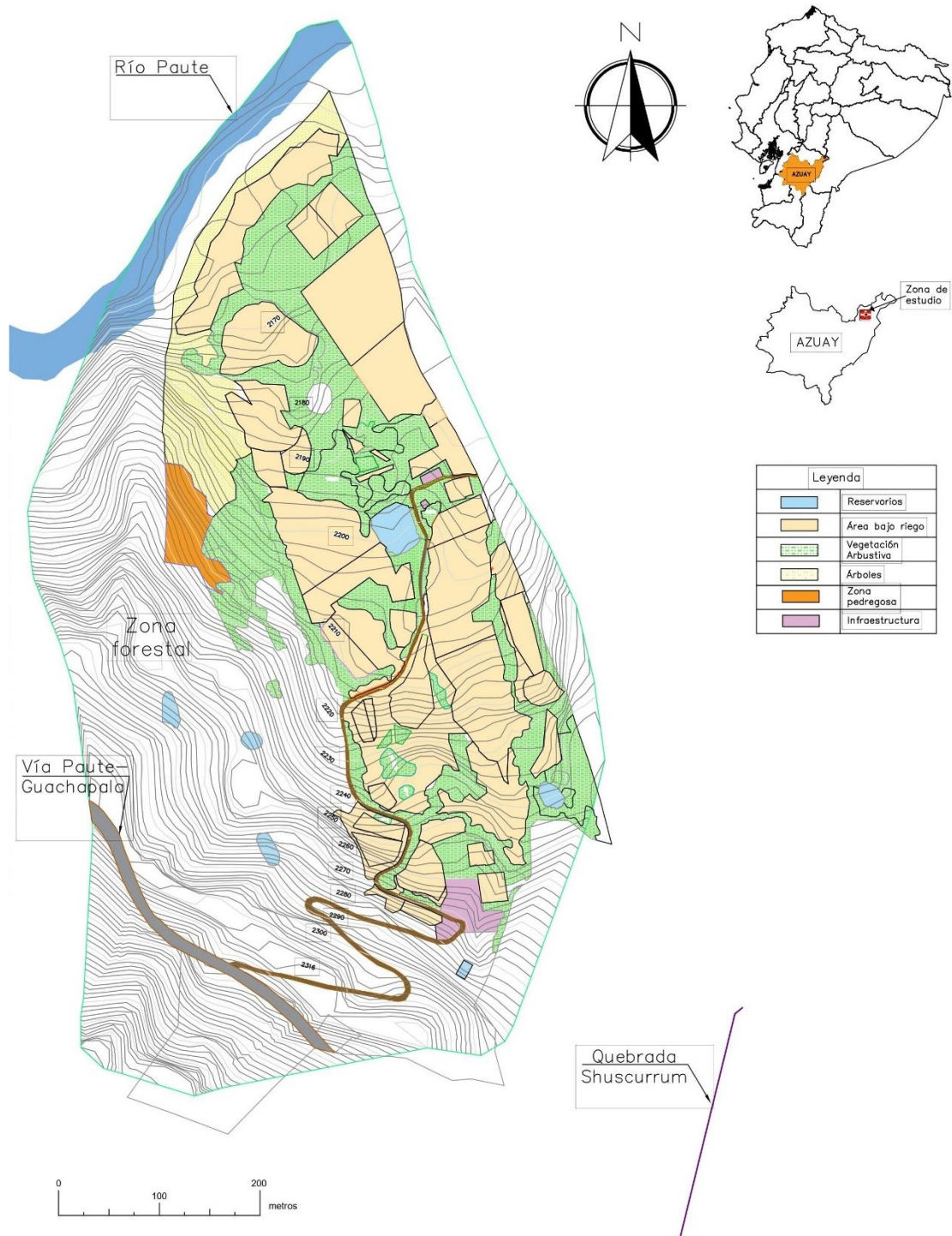


Fig. 1: Ubicación de la granja El Romeral. Fuente: Laboratorio de Geomática de la Universidad de Cuenca. El área de riego se encuentra en el margen derecho de la zona de estudio con pendientes del orden del 15%. Las curvas de nivel representan desniveles de 2 m.

Entre las más relevantes características de orden biofísico que han sido consideradas para el estudio se

indican las siguientes:

- a) Temperatura. - La temperatura media de la zona oscila entre 14°C y 18°C (Anexo 2). De acuerdo a la Zonificación Agroecológica del Austro Ecuatoriano (Dercon et al., 1998), el clima para la zona se establece como “trópico moderadamente fresco” en consideración de que se tendrían todos los meses temperaturas medias (corregidas a nivel del mar) mayores a 18°C° y se presentarían temperaturas diarias promedio entre 15°C y 20 °C durante el periodo de crecimiento, mismo que se establece en función de la distribución de la precipitación y la evapotranspiración como se indicará más adelante.
- b) Precipitación. - La precipitación media de la zona se ha calculado como el promedio de los datos disponibles para los años 2017, 2018 y 2019:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P (mm/mes)	42	60	41	91	100	49	30	61	41	94	62	31
P (mm/d)	1.4	2.1	1.3	3.0	3.2	1.6	0.9	1.9	1.3	3.0	2.0	1.0

Tabla 3: Precipitación media obtenida para los años 2017, 2018 y 2019.

Los meses que cuentan con mayor precipitación corresponden a los meses de abril, mayo y octubre, mientras que los meses con menor precipitación son julio y diciembre.

Es importante indicar que, debido a la escasa información de precipitación, así como, a los valores identificados a través de los valores de precipitación media, para el estudio se ha optado no considerar un aporte sustancial de precipitación efectiva, lo cual tiene además como efecto directo disponerse de un diseño técnico seguro.

- c) Evapotranspiración. - La evapotranspiración de referencia (ET_o) fue estimada con el software “ETo calculator”, con base a la información de: temperatura máxima, mínima y media y la velocidad de viento promedio correspondientes a los años 2017, 2018 y 2019 (Anexo 3).

En la Tabla 4 se indican los valores calculados para la evapotranspiración de referencia mensual correspondiente a parámetros promedio de los tres años y los valores de la mitad de evapotranspiración de referencia.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET_o (mm/d)	3.5	3.6	3.6	3.5	3.1	2.8	2.8	3	3.6	3.8	3.8	3.5
$\frac{ET_o}{2}$ (mm/d)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.6	1.4	1.4	1.5	1.8	1.9	1.9	1.8

Tabla 4: Evapotranspiración de referencia ET_o y $ET_o/2$

Note que los meses de mayor evapotranspiración de referencia son los de octubre y noviembre, lo cual implica que los mayores requerimientos para los cultivos se presentarían en estos meses. Mientras que los meses de menor evapotranspiración de referencia son los de junio y julio.

Las gráficas de la precipitación media, ET_o y $ET_o/2$ se presentan en la siguiente figura:

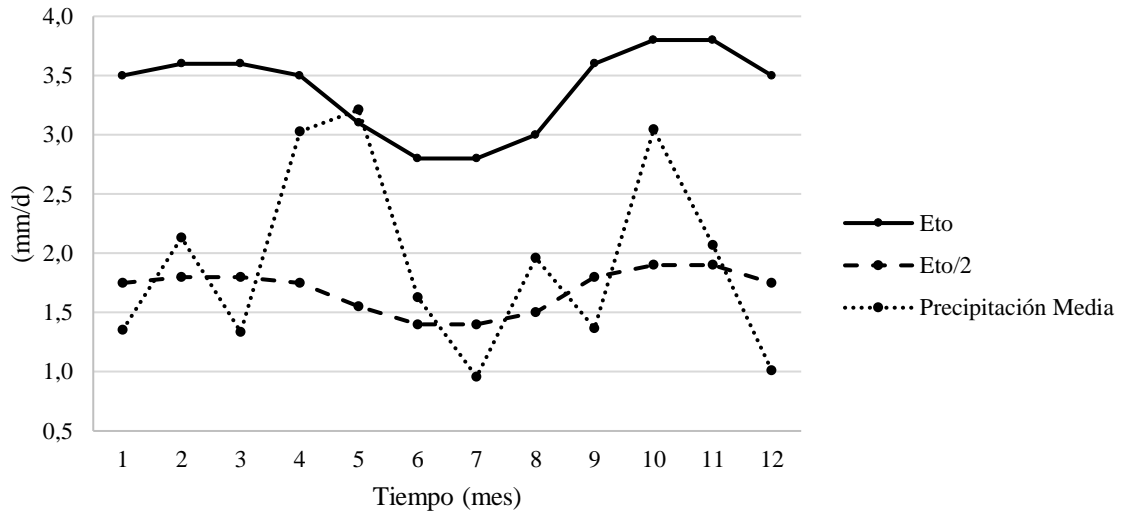


Fig. 2: Curvas de evapotranspiración de referencia y precipitación media.

Aunque es notorio el comportamiento bimodal de la precipitación media, es importante apreciar que se hace evidente cierta influencia del régimen de precipitación oriental.

De acuerdo a la metodología de clasificación agroecológica (Dercon et al., 1998), se establece una duración del periodo de crecimiento (periodo con precipitaciones medias mayores a $ET_o/2$) del orden de 7 meses y un periodo húmedo de 1 mes (periodo en el cual la precipitación media supera a ET_o).

- d) Suelos. - Respecto a la información de los suelos, se empleó información secundaria relacionada con: pruebas de campo y experimentos realizados en el laboratorio de física de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca. De esta información se rescató los valores correspondientes a las humedades de interés para el proyecto que son: capacidad de campo y humedad en el punto de marchitez según el tipo de suelo (Anexo 4).

Se indica además que, luego del análisis y validación de información recopilada, se han considerado para el estudio tres principales tipos de suelo: arcilloso, franco arcilloso, y franco (Fig. 3). Además, se establece que el estudio de suelos fue realizado en una superficie de 5 ha (55% del área de riego) teniéndose la siguiente distribución según el tipo de suelo (Tabla 5).

Tipo de suelo	Porcentaje
Franco arcilloso	82.50 %
Franco	11.70 %
Arcilloso	0.80 %

Tabla 5: Distribución según el tipo de suelo en el área bajo riego.

Nótese que el suelo más representativo para el proyecto es el suelo franco arcilloso, el cual se considera un suelo adecuado para actividades agrícolas debido a que tiene una buena capacidad de almacenamiento y propiedades excelentes de drenaje.

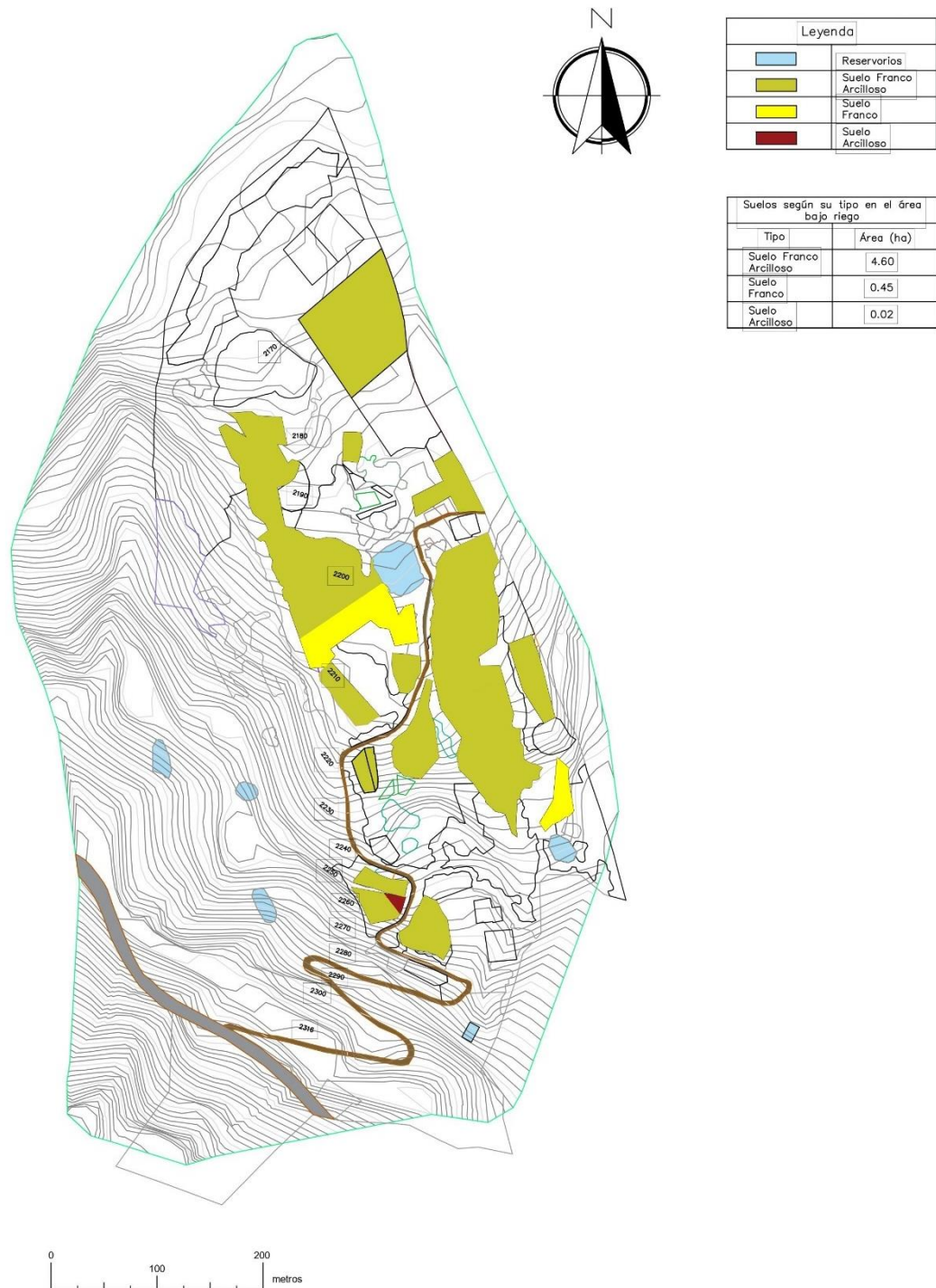


Fig. 3: Distribución de tipos de suelo en el área bajo riego.

- e) Dotación de agua e infraestructura. - La granja “El Romeral” se abastece a través de la quebrada “Shushcurrum” que pertenece a la junta de regantes del cantón Guachapala, dicha quebrada se encuentra a menos de un kilómetro de la granja y se adjudica al proyecto un caudal de 3,18 l/s.

Para el almacenamiento de agua, se dispone de 6 reservorios, de los cuales se encuentran habilitados únicamente cuatro, y tres de éstos están impermeabilizados. Los 4 reservorios tienen las siguientes características:



Reservorio	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Área (m ²)	Profundidad (m)	Capacidad (m ³)
1	753882.54 E	9694052.80 N	2278	163.63	2.50	409.08
2	753689.54 E	9694175.49 N	2272	456.61	2.50	1141.53
3	753971.17 E	9694226.70 N	2235	480.31	1.50	720.47
4	753817.40 E	9694490.79 N	2194	1706.76	3.00	5120.28

Tabla 6: Características de los reservorios habilitados para el proyecto

Note que el reservorio 1 se halla en la parte más elevada de la zona, mientras que el reservorio 4 se ubica en la parte más baja, éste a su vez es el más grande en cuanto a área y capacidad.

Con base a un levantamiento planimétrico georreferenciado de la red de distribución primaria de riego que, en conjunto con la información geográfica y topográfica proporcionada, se elaboró un esquema de la infraestructura disponible y aspectos técnicos del riego existentes (Fig. 4).

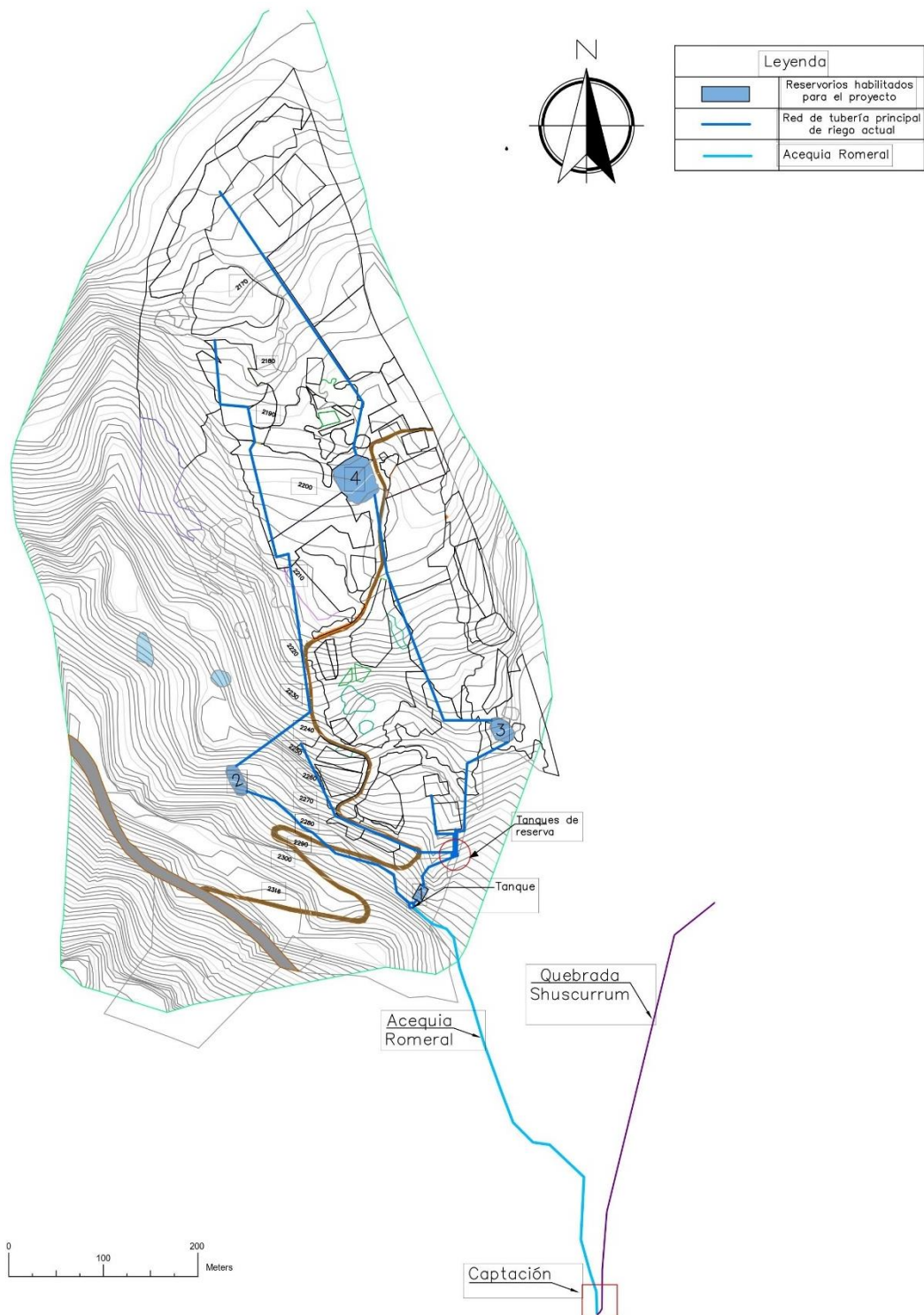


Fig. 4: Infraestructura de riego existente.

La red primaria consta mayoritariamente de tuberías. La captación se encuentra a menos de 1 km de la granja, donde el agua es conducida a través de una acequia. Nótese que el reservorio 4 (el de mayor capacidad) se encuentra ubicado en el centro de gravedad del área bajo riego, sin embargo, se halla en la cota 2194 m.s.n.m., por lo que no es conveniente desde el punto de vista de operatividad de un sistema de riego.

3. Resultados y Discusión

3.1. Planificación del proyecto y sectorización general del área regable

Para organizar el estudio técnico, y con base a una planificación estándar del proyecto compatible con las prácticas de manejo de la granja, se dividió el área de riego en 5 sectores, cada uno de los cuales será regado semanalmente. La sectorización contempló además criterios como: ubicación respecto a los reservorios, infraestructura de conducción disponible, áreas planificadas para cultivos y sus rotaciones, aspectos topográficos y accesos, cobertura vegetal, entre otros (Fig. 5).

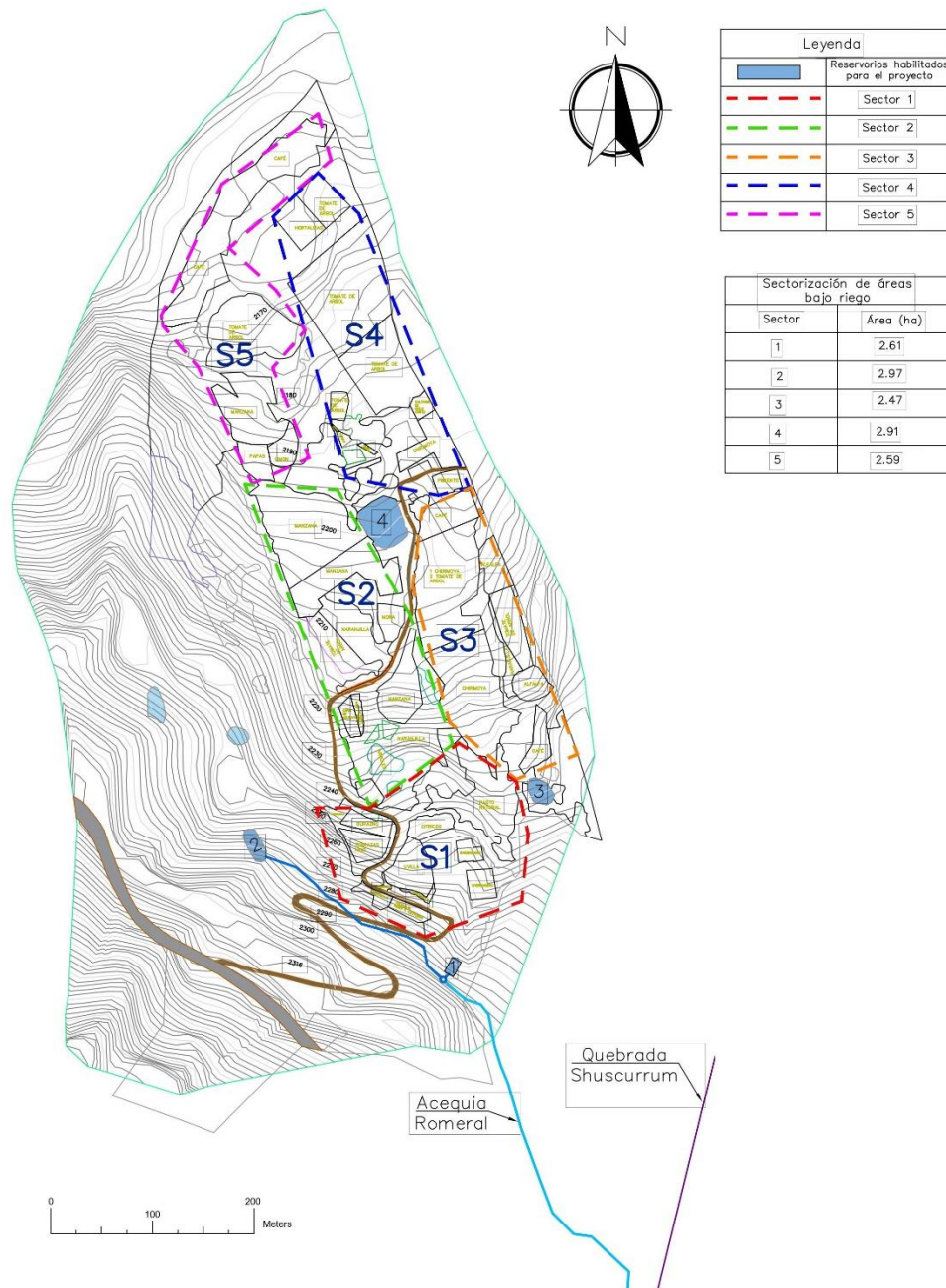


Fig. 5: Sectorización de la zona de estudio.

La sectorización se ha definido de acuerdo a infraestructura de riego y planificación de cultivos para lograr uniformidad en las superficies de riego lo cual se traduce necesariamente en uniformidad en los caudales del sistema de distribución.

3.2. Tipificación de la capacidad de retención de los suelos y otras propiedades hidrofísicas

Con base a la información edafológica descrita en la caracterización biofísica para el estudio (Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias), y luego del análisis y validación correspondiente se ha establecido como humedades características para efectos de diseño las que se indican en la Tabla 7. Adicionalmente, con ayuda de funciones de pedotransferencia (FAO, 2006b) se ha proyectado valores considerados como representativos para las conductividades hidráulicas relacionadas con la textura de cada uno de los tipos de suelo en el proyecto.

Tipo de suelo		Capacidad de campo (θ_{FC}) (%)	Punto de marchitez (θ_{WP}) (%)	Conductividad Hidráulica (mm/h)	TAW (mm/m)
A	Franco Arcilloso	36	20	8	160
B	Franco	39	17	13	220
C	Arcilloso	35	17	0.50	180

Tabla 7: Valores de capacidad de campo, punto de marchitez, conductividad hidráulica y TAW para el proyecto. Para el cálculo de TAW se aplicó la ecuación 5. Note que el suelo franco arcilloso tiene la menor capacidad de retención mientras que el suelo franco posee la mayor capacidad por metro de profundidad de suelo. Las ligeras discrepancias con valores establecidos en la literatura técnica obedecen principalmente a la intervención agronómica realizada en los suelos.

Considerando el rango de valores proyectados para TAW de la Tabla 7, y adoptando valores representativos para el factor de reducción p y la profundidad de humedecimiento D , según el cultivo, se estableció un rango posible para la variación de agua realmente utilizable RAW para diseño en el proyecto (Tabla 8).

Cultivo	Sector	(1) p	(2) D	(3) RAW mín. (mm)	(4) RAW máx. (mm)	(5) RAW de diseño (mm)
Frutales	1 al 5	0.50	0.50	40.00	55.00	47.5
Pasto Natural	1	0.60	0.50	48.00	66.00	57.0
Cultivos bajo invernadero	1	0.33	0.50	26.40	36.00	31.2
Leguminosas	2	0.45	0.60	43.20	59.00	51.1
Caña de Azúcar	2	0.65	1.20	128.80	172.00	150.4
Herbáceas	3	0.55	1.50	132.00	182.00	157.0
Cultivos de Ciclo Corto	4	0.33	0.50	26.40	36.00	31.2
Plantas Medicinales	4	0.33	0.50	26.40	36.00	31.2
Hortalizas	4	0.33	0.50	26.40	36.00	31.2
Papas	5	0.35	0.50	28.00	38.50	33.3

Tabla 8: Agua realmente utilizable para los cultivos

Los valores para la fracción de reducción fueron establecidos en función de la Tabla 1. Los valores D para profundidad de humedecimiento (profundidad de zona radicular) fueron establecidos con base a las recomendaciones de la FAO (FAO, 2006a).

Columna 1. Factor de reducción o fracción de agua fácilmente utilizable (depende de la sensibilidad del cultivo).

Columna 2. Profundidad efectiva de raíces o profundidad de humedecimiento (m).

Columna 3. Agua realmente utilizable (límite inferior) calculado con TAW = 160 mm/m.

Columna 4. Agua realmente utilizable (límite superior) calculado con TAW = 220 mm/m.

Columna 5. Agua realmente utilizable promedio adoptada para diseño.

3.3. Definición de las necesidades hídricas para el proyecto

Para obtener las necesidades hídricas del proyecto, se calculó la evapotranspiración de cultivo ET_c para

lo cual se contempló los coeficientes de cultivo k_c (FAO, 2006a) que corresponden a cada una de las especies previstas en los 5 sectores, dichos coeficientes se encuentran en el Anexo 5.

El requerimiento neto NR ($m^3/d/ha$) y el requerimiento bruto diario fueron calculados para cada uno de los meses considerando únicamente la evapotranspiración de cultivo (no se ha considerado aporte por precipitación efectiva), el área regable de las especies de cultivos y las eficiencias del método de riego correspondientes a cada sector. De esta forma se determinó el mes crítico (noviembre), es decir el mes que tendría mayores necesidades de agua y que servirá para el cálculo de los caudales de diseño para cada sector como se indicará más adelante.

Necesidades hídricas para diseño en los sectores del proyecto

A continuación, en las Tablas 9 al 13, se detalla para cada sector, los cultivos y sus superficies, así como, el cálculo de las necesidades hídricas y los requerimientos de diseño para el proyecto. Los cálculos realizados para determinar los requerimientos contemplan los siguientes criterios:

Columna 1. Cultivos contemplados en el sector.

Columna 2. Área global de cultivo para el sector.

Columna 3. Método de riego contemplado para el proyecto.

Columna 4. Eficiencia adoptada como estándar para los métodos de riego según (Cisneros et al., 2002).

Columna 5. Evapotranspiración de cultivo (mes crítico) establecida mediante el método FAO-Penman-Monteith y software ETo Calculator (Anexo 3).

Columna 6. Requerimiento diario neto de agua para cultivos por hectárea ($m^3/d/ha$). Se obtiene mediante la transformación a la columna 5 a volumen requerido en la superficie de 1 ha.

Columna 7. Volumen bruto requerido para la superficie respectiva (m^3/d). Corresponde a la multiplicación de la columna (6) por la columna (2) y la división por la columna (4).

Las necesidades hídricas en el periodo crítico, traducidas a volumen de agua requerida por día para cada uno de los sectores, se resumen a continuación:

(1) Cultivos		(2) Área (ha)	(3) Método de Riego	(4) Eficiencia de Riego	(5) ETc (mm/d)	(6) NR neto ($m^3/d/ha$)	(7) Requerimiento bruto diario (m^3)
Frutales	Aguacate – reina claudia	0.05	Goteo	0.90	3.42	34.20	25.19
	Naranja	0.18					
	Uvilla	0.18					
	Terrazas de higo	0.10					
	Durazno	0.07					
	Cítricos	0.08					
Pasto natural		0.46	Aspersión	0.80	3.80	38.00	21.98
Cultivos bajo invernadero		0.12	Goteo	0.90	3.61	36.10	4.91

Tabla 9: Necesidades hídricas del sector 1.

El requerimiento bruto total establecido para el sector es de $52.08 m^3$ diarios.



(1) Cultivos		(2) Área (ha)	(3) Método de Riego	(4) Eficiencia de Riego	(5) ETc (mm/d)	(6) NR neto (m ³ /d/ha)	(7) Requerimiento bruto diario (m ³)
Frutales	Manzana Lote A – B	1.01	Goteo	0.90	3.42	34.20	82.76
	Manzana Lote C	0.22					
	Naranjilla	0.69					
	Café – Higo	0.05					
	Tomate de árbol	0.14					
	Mora	0.08					
Caña de azúcar		0.05	Surcos	0.60	4.75	47.50	3.85
Leguminosas		0.03	Surcos	0.60	3.99	39.90	1.75

Tabla 10: Necesidades hídricas del sector 2.

El requerimiento bruto total establecido para el sector es de 88.35 m³ diarios.

(1) Cultivos		(2) Área (ha)	(3) Método de Riego	(4) Eficiencia de Riego	(5) ETc (mm/d)	(6) NR neto (m ³ /d/ha)	(7) Requerimiento bruto diario (m ³)
Frutales	Café	0.27	Goteo	0.90	3.42	34.20	68.61
	Tomate de A	0.17					
	Chirimoya - Tomate de A	0.65					
	Chirimoya	0.65					
	Naranjilla	0.07					
Herbáceas		0.21	Aspersión	0.80	3.04	30.40	8.10

Tabla 11: Necesidades hídricas del sector 3.

Nótese que el requerimiento total es 76.72 m³

(1) Cultivos		(2) Área (ha)	(3) Método de Riego	(4) Eficiencia de Riego	(5) ETc (mm/d)	(6) NR neto (m ³ /d/ha)	(7) Requerimiento bruto diario (m ³)
Frutales	Café	0.02	Goteo	0.90	3.42	34.20	64.00
	Chirimoya	0.18					
	Tomate árbol 1	1.23					
	Pimiento	0.05					
	Uvilla	0.01					
	Papaya	0.002					
	Tomate árbol 2	0.05					
	Tomate árbol 3	0.14					
Cultivos de ciclo corto		0.04	Goteo	0.90	3.00	30.02	1.33
Plantas medicinales		0.01	Goteo	0.90	3.61	36.10	0.32
Hortalizas		0.14	Goteo	0.90	3.80	38.00	5.90

Tabla 12: Necesidades hídricas del sector 4.

El requerimiento bruto total establecido para el sector es de 71.55 m³ diarios.

(1) Cultivos		(2) Área (ha)	(3) Método de Riego	(4) Eficiencia de Riego	(5) ETc (mm/d)	(6) NR neto (m ³ /d/ha)	(7) Requerimiento bruto diario (m ³)
Frutales	Café	0.76	Goteo	0.90	3.42	34.20	63.33
	Tomate de A	0.48					
	Manzana Ana Lote D	0.34					
	Naranja	0.08					
Papas		0.10	Surcos	0.60	3.65	36.48	5.95

Tabla 13: Necesidades hídricas del sector 5.

El requerimiento bruto total establecido para el sector es de 69.28 m³ diarios.

3.4. Determinación de frecuencia de riego para el proyecto y dosis netas para el diseño

Para el diseño, como se indicó, se ha establecido una frecuencia de riego de 7 días, considerando riegos semanales como esquema recomendado para el manejo del sistema en cada uno de los sectores. Una vez definida la frecuencia, se obtuvo una dosis neta representativa por sector, la cual fue obtenida a partir del cálculo de las necesidades para cada uno de los cultivos del sector, habiéndose seleccionado el mayor de los requerimientos acumulados para la frecuencia antes indicada (Anexo 6).

Sector	Dosis netas de diseño (mm)	RAW de diseño (mm)
1	27	31.2
2	33	51.1
3	24	47.5
4	27	31.2
5	26	33.3

Tabla 14: Dosis netas máximas calculadas para cada sector en comparación con la cantidad de agua realmente disponible establecida para el diseño de cada sector.

Los valores de RAW de diseño corresponden a los valores promedio mínimos que han sido establecidos en cada uno de los sectores (Tabla 8). Es importante señalar que las dosis netas de diseño no superan las capacidades de almacenamiento promedio establecidas en términos de RAW de diseño para la frecuencia de 7 días.

3.5. Caudales para el proyecto

a) Caudal continuo equivalente

Se calculó el caudal continuo equivalente para el mes crítico correspondiente a cada sector considerando una eficiencia de transporte del 90% debido a las pérdidas en la conducción (Tabla 15).

Sector	Caudal continuo equivalente (l/s)
1	0.67
2	1.14
3	0.99
4	0.92
5	0.89

Tabla 15: Caudales continuos equivalentes.

Note que el caudal continuo equivalente total para el proyecto es de 4.60 l/s.

El caudal continuo equivalente para el proyecto se ha establecido en 4.60 l/s. Es importante indicar que, el caudal continuo equivalente mayorado que requiere el proyecto supera al caudal de 3.18 l/s que actualmente está reportado como adjudicado a la granja El Romeral, presentándose un déficit aparente en la fuente de 1.42 l/s, circunstancia que será analizada más adelante en el numeral 3.6.

b) Caudal característico

Se determinó mediante la relación que presenta el caudal continuo equivalente en consideración del área regable total de 9.16 ha del proyecto (Tabla 16).

Área regable (ha)	9.16
Caudal continuo equivalente requerido para el proyecto (l/s)	4.60
Caudal característico del proyecto (l/s/ha)	0.50

Tabla 16: Caudales para el proyecto.

Nota: El caudal característico calculado permite tipificar al proyecto como un sistema con requerimientos convencionales de recurso hídrico para agricultura irrigada.

c) Caudal de diseño para la distribución de agua de riego

Establecida la frecuencia de riego (7 días), se procedió a determinar los volúmenes de agua requeridos para cada uno de los sectores. Para la aplicación de esos volúmenes, se ha establecido para cada sector un tiempo de riego global de 12 h, el cual se considera adecuado desde la perspectiva tanto de manejo como de las prácticas agroproductivas que se llevan adelante en la granja (Tabla 17).

Sector	Frecuencia (días)	Requerimiento bruto diario (m ³)	Requerimiento acumulado (m ³)	Tiempo de riego (h)	Caudal de diseño (l/s)
1	7	52.08	365	12	8.44
2		88.35	618		14.32
3		76.72	537		12.43
4		71.55	501		11.60
5		69.28	485		11.20

Tabla 17: Caudales de diseño para cada sector.

Note que los requerimientos acumulados son menores a la capacidad de los reservorios (Tabla 6).

3.6. Estudio de alternativas

Para el proyecto se contempló dos alternativas de diseño. Los aspectos de diseño que son comunes en las alternativas establecidas son: la sectorización de áreas regables, los caudales de diseño correspondientes a cada área regable, y los esquemas hidrotécnicos para los sectores 1, 2, 4 y 5. Las diferencias básicas contempladas en las alternativas se fundamentan en: variantes en el modelo para manejo integrado de reservorios, variante en la configuración de la línea de conducción primaria para el sector 3, e implementación de un sistema de bombeo para maximización del reservorio 4.

Dentro de las dos alternativas, para el trazado de las líneas de distribución primarias, secundarias y terciarias de cada sector, se regularizó la configuración geométrica de las áreas de riego para efectos de facilitar el dimensionamiento de los métodos de aplicación. Los caudales para cada área regable de los 5

sectores se calcularon de manera proporcional a los caudales de diseño que fueron establecidos previamente para cada sector (Anexo 7).

Es importante indicar que, en lo relacionado con el modelo de manejo de reservorios, en función de las capacidades proyectadas para cada reserva, se realizó un estudio de simulación de flujo (oferta – demanda) para un periodo de seis meses, periodo considerado como adecuado para las condiciones iniciales del manejo tecnificado para el proyecto. De esta forma se ha identificado los caudales de ingreso requeridos en cada reservorio que garanticen la disponibilidad de los volúmenes mínimos antes de cada operación de riego.

3.6.1. Alternativa 1

La alternativa 1 contempla un sistema con un manejo integral de los 4 reservorios previstos en el proyecto, considerando además la interconexión de los reservorios 1 y 3, y del reservorio 2 con el 4.

A continuación, se indica los esquemas hidrotécnicos que se contemplan en la Alternativa 1:

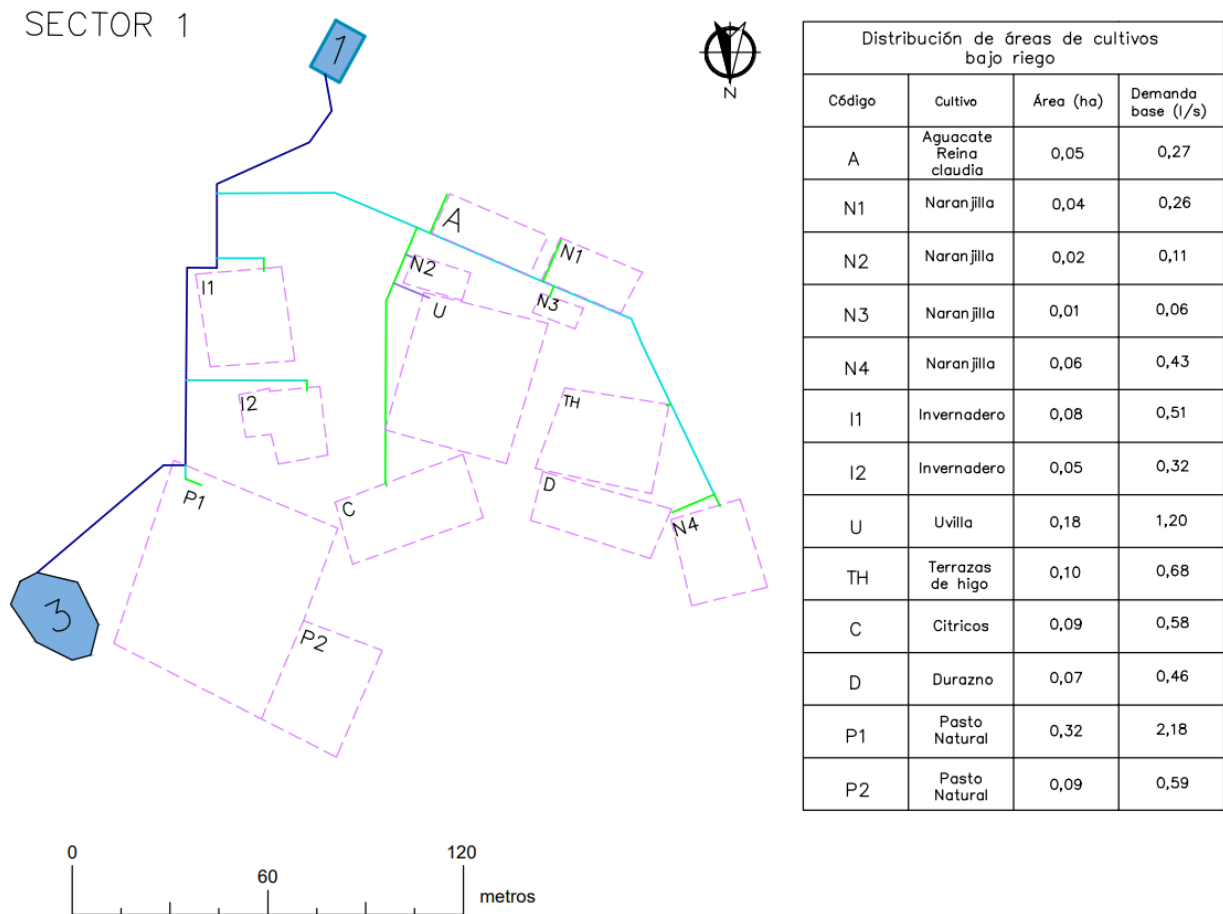
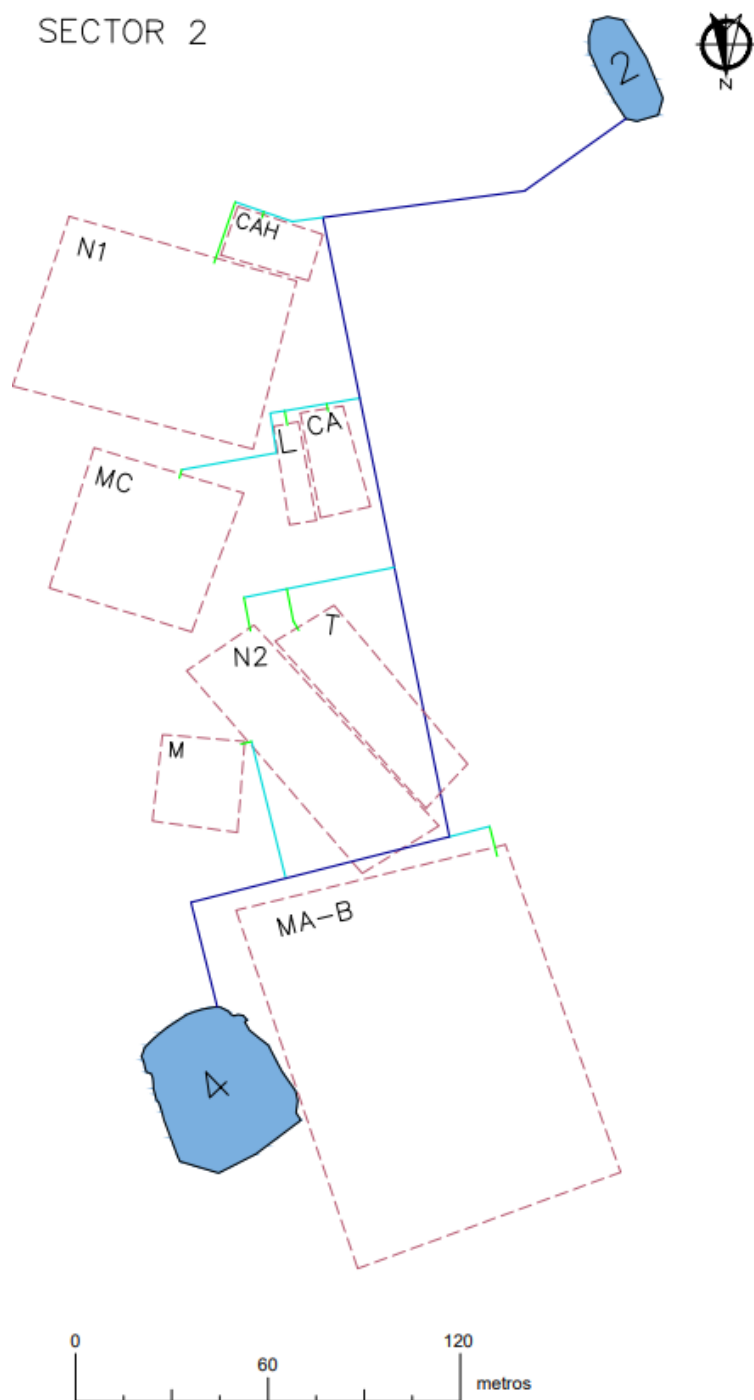


Fig. 6: Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 1.

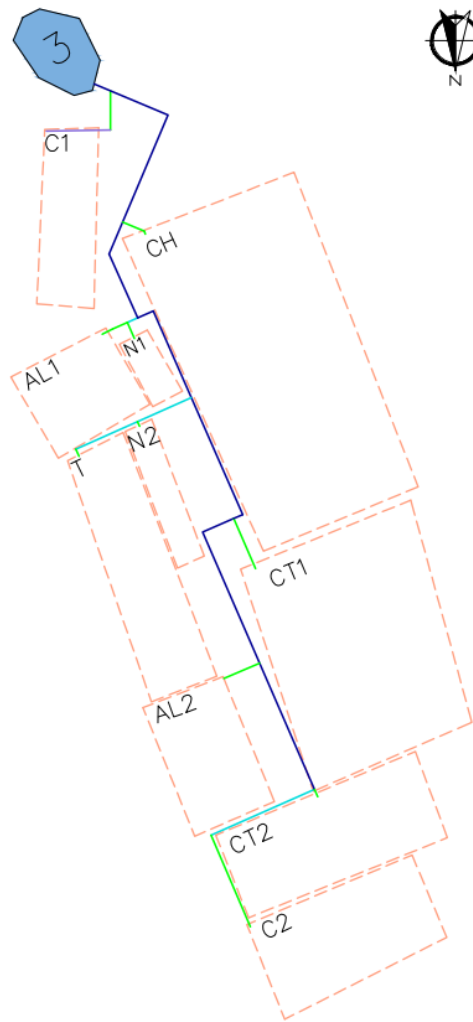
SECTOR 2



Distribución de áreas de cultivos bajo riego			
Código	Cultivo	Área (ha)	Demanda base (l/s)
CAH	Café -Higo	0,05	0,29
N1	NaranjaJila	0,40	2,59
N2	NaranjaJila	0,20	1,39
MC	Manzana	0,20	1,37
L	Leguminosas	0,03	0,16
CA	Caña de azúcar	0,05	0,30
M	Mora	0,10	0,48
T	Tomate de arbol	0,10	0,86
MA-B	Manzana	1,0	6,26

Fig. 7: Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 2.

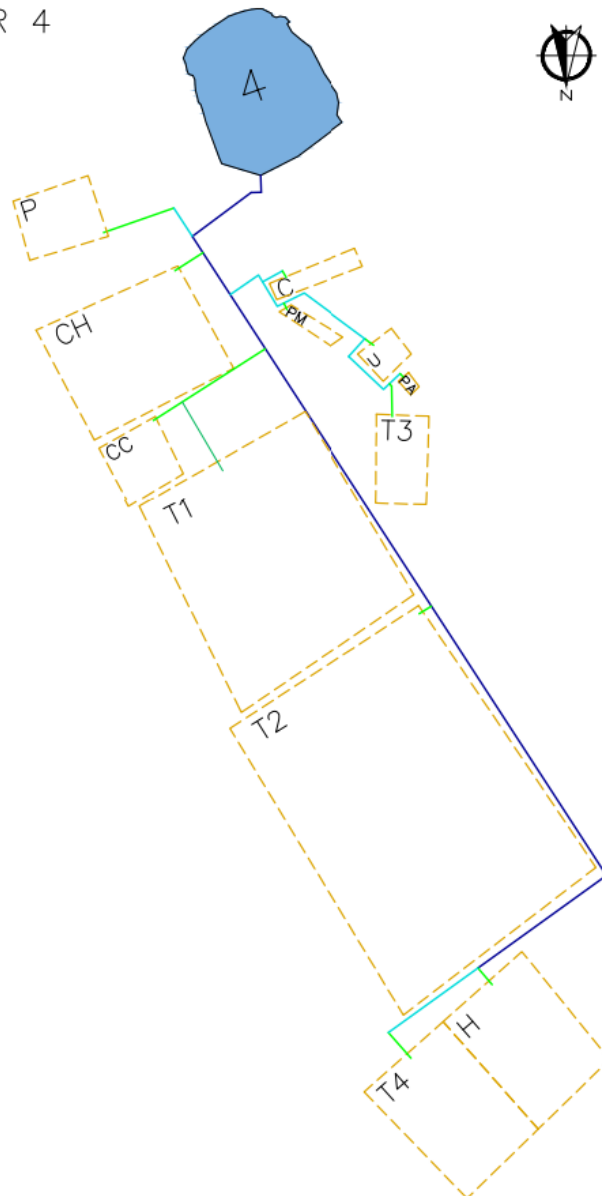
SECTOR 3



Distribución de áreas de cultivos bajo riego			
Código	Cultivo	Área (ha)	Demanda base (l/s)
C1	Café 1	0,10	0,60
C2	Café 2	0,17	1,04
AL1	Alfalfa 1	0,10	0,59
N1	Naranja 1	0,02	0,14
N2	Naranja 2	0,04	0,25
CT1	Chirimoya - Tomate de arbol 1	0,50	2,85
CT2	Chirimoya - Tomate de arbol 2	0,20	1,16
AL2	Alfalfa 2	0,12	0,73
CH	Chirimoya	0,65	4,03
T	Tomate de arbol	0,17	1,04

Fig. 8: Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 3.

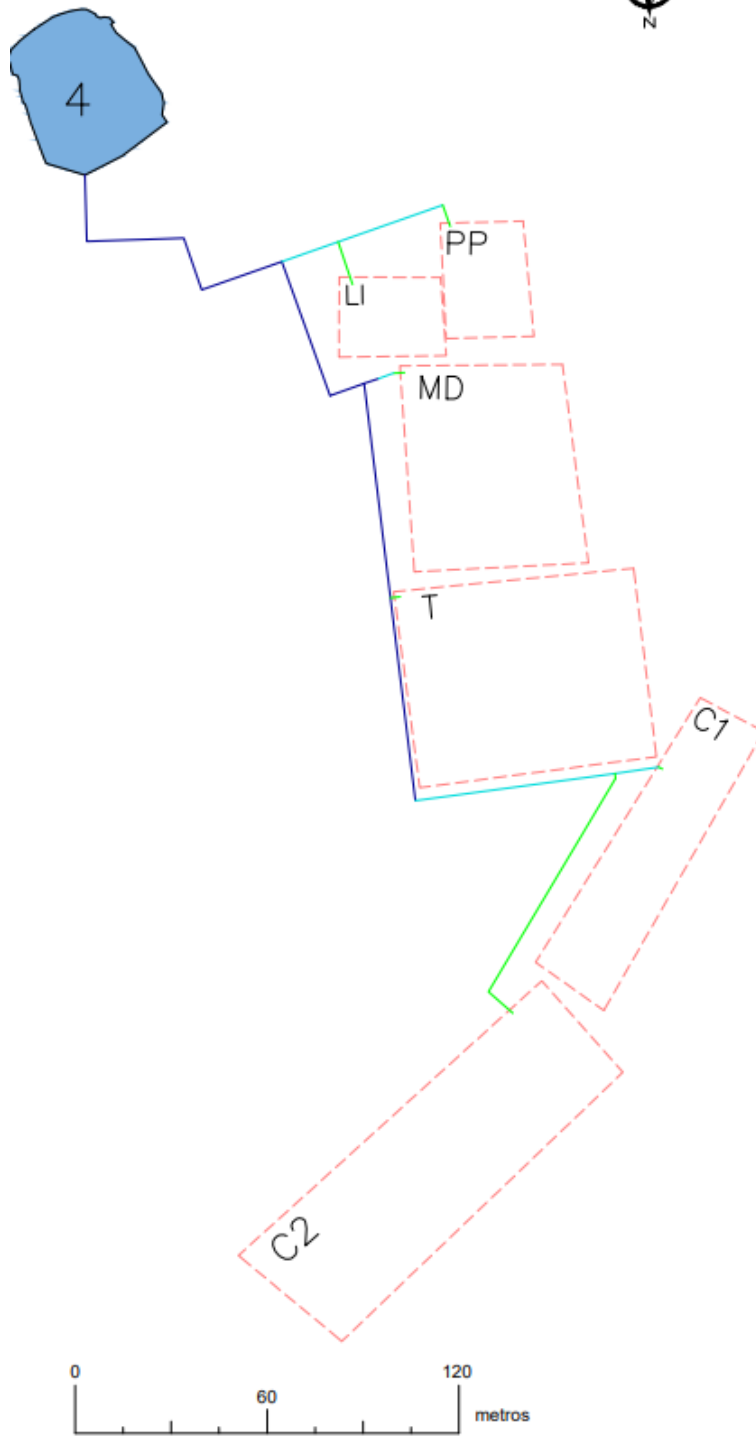
SECTOR 4



Distribución de áreas de cultivos bajo riego			
Código	Cultivo	Área (ha)	Demanda base (l/s)
PI	Pimiento	0,05	0,31
CH	Chirimoya	0,18	1,14
C	Café	0,02	0,11
PM	Plantas medicinales	0,01	0,05
U	Uvilla	0,01	0,08
PA	Papaya	0,002	0,01
T1	Tomate de árbol 1	0,40	2,68
T2	Tomate de árbol 2	0,80	4,91
T3	Tomate de árbol 3	0,05	0,28
T4	Tomate de árbol 4	0,14	0,89
CC	Cultivos de ciclo corto	0,04	0,25
H	Hortalizas	0,14	0,87

Fig. 9: Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 4.

SECTOR 5



Distribución de áreas de cultivos bajo riego			
Código	Cultivo	Área (ha)	Demanda base (l/s)
PI	Pimiento	0,05	0,31
CH	Chirimoya	0,18	1,14
C	Café	0,02	0,11
PM	Plantas medicinales	0,01	0,05
U	Uvilla	0,01	0,08
PA	Papaya	0,002	0,01
T1	Tomate de árbol 1	0,40	2,68
T2	Tomate de árbol 2	0,80	4,91
T3	Tomate de árbol 3	0,05	0,28
T4	Tomate de árbol 4	0,14	0,89
CC	Cultivos de ciclo corto	0,04	0,25
H	Hortalizas	0,14	0,87

Fig. 10: Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 5.

Cabe indicar que para la alternativa 1 los reservorios 1 y 2 que se encuentran en las cotas más altas (cabeceras de la zona de riego), serán abastecidos desde un punto en común. Adicionalmente debido a que, el esquema hidrotécnico para el sector 3 es exclusivo de esta alternativa, se calculó de manera

particular para la valoración preliminar de alternativas, la longitud de tubería para la conducción primaria, habiéndose obtenido 270 m.

Como modelo de manejo para reservorios en esta alternativa se contempla que, el reservorio 1 abastecerá al sector 1 el primer día de riego; el reservorio 2 abastecerá al sector 2 el segundo día; el reservorio 3 abastecerá al sector 3 el tercer día; y el reservorio 4 abastecerá a los sectores 4 y 5 el cuarto y quinto día respectivamente. Como se indicó anteriormente, se simuló el flujo de oferta - demanda para los reservorios integrados con la finalidad de obtener las capacidades óptimas de cada reservorio, así como, los caudales de ingreso que garanticen la disponibilidad de volumen durante el periodo de simulación al inicio de cada operación de riego. Es necesario indicar que los caudales establecidos para ingreso a los reservorios han sido contrastados con el caudal continuo equivalente mayorado inicialmente establecido en el proyecto (4.60 l/s). En función del dimensionamiento final que se podría dar al reservorio 4 (por ser el de mayor volumen), en la simulación del modelo de manejo integrado de los reservorios se ha contemplado dos opciones: i) optimización del volumen del reservorio 4, y ii) optimización del caudal de ingreso al reservorio 4.

De esta forma, como resultado de la simulación (Anexo 8) se ha obtenido que, minimizando la capacidad del reservorio 4 se requeriría un volumen de 990 m³ (4130 m³ menos que el volumen proyectado originalmente). Por otro lado, optando por un volumen de 5120 m³ (volumen originalmente proyectado), se reduce el caudal de ingreso para su llenado a un valor de 1.35 l/s, lo que implica un valor total de caudal continuo de 3.81 l/s.

A continuación, en las Tablas 18 y 19 se presenta el análisis del manejo integrado de los reservorios para las dos opciones antes mencionadas.

Reservorio	1	2	3	4	
Volumen del reservorio proyectado originalmente (m ³)	409	1142	720	5120	
Volumen del reservorio mínimo requerido para la simulación (m ³)	395	1100	710	990	
Volumen de ingreso (m ³)	51.90	85.50	75.70	184	
Caudal de ingreso continuo (l/s)	0.60	0.99	0.88	2.13	
Sector a regar	1	2	3	4	5
Caudal de diseño (l/s)	8.44	14.32	12.43	11.60	11.20
Volumen de agua requerida (m ³)	365	618	537	501	485

Tabla 18: Simulación de flujo de oferta – demanda para los reservorios contemplados en la alternativa 1 (opción 1).
El valor total de caudal continuo para la opción 1 sería de 4.60 l/s.

Reservorio	1	2	3	4	
Volumen del reservorio proyectado originalmente (m ³)	409	1142	720	5120	
Volumen del reservorio mínimo requerido para la simulación (m ³)	395	1100	710	5100	
Volumen de ingreso (m ³)	51.90	85.50	75.70	116.50	
Caudal de ingreso continuo (l/s)	0.60	0.99	0.88	1.35	
Sector a regar	1	2	3	4	5
Caudal de diseño (l/s)	8.44	14.32	12.43	11.60	11.20
Volumen de agua requerida (m ³)	365	618	537	501	485

Tabla 19: Simulación de flujo de oferta - demanda para los reservorios contemplados en la alternativa 1 (opción 2).
El valor total de caudal continuo para la opción 2 sería de 3.81 l/s.

Es importante indicar que la simulación se realizó con base a un flujo de oferta - demanda semanal y considerando como condición inicial que, todos los reservorios se encontrarían llenos al inicio de la

operación de riego.

Una vez que se ha realizado la simulación de flujo, se tendría que para la primera opción los caudales de diseño para el subsistema que corresponde a los reservorios 1 y 3 totalizarían 1.48 l/s, y el caudal de diseño acumulado que permitiría el manejo integrado de los reservorios 2 y 4 sería de 3.12 l/s. Mientras que para la opción dos, los caudales de diseño serían de 1.48 l/s y 2.34 l/s respectivamente (Fig. 11).

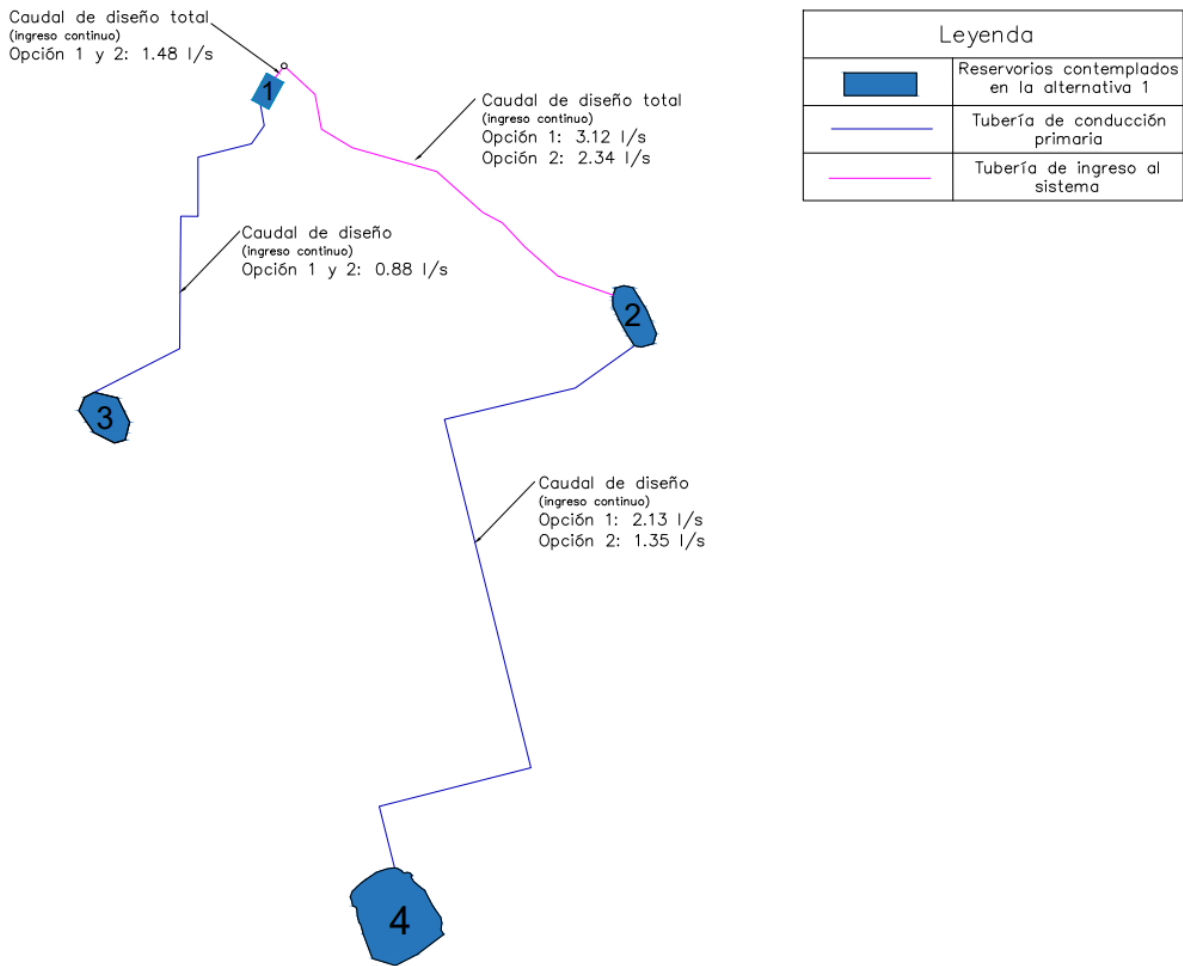


Fig. 11: Caudales de diseño para el sistema contemplando los reservorios de la alternativa 1.

3.6.2. Alternativa 2

Considerando que para el proyecto se ha previsto el uso del reservorio 4 en su máxima capacidad, y dado que el volumen de almacenamiento supera los requerimientos de los sectores 3, 4 y 5, por requerimiento de futuras prácticas de manejo y condicionantes operativas de la granja se ha optado por plantear como alternativa un esquema hidrotécnico que se fundamente en la maximización de la capacidad de almacenamiento de dicho reservorio. Esta alternativa implicaría no contar con el aporte del reservorio 3 y, además, dado que el reservorio 4 se encuentra ubicado en la zona media del área regable, se identifica necesario incorporar un sistema de bombeo complementario.

Como se mencionó anteriormente, el diseño de las líneas de distribución para el sector 3 difieren del

diseño que fue planteado para la alternativa 1, para lo cual se ha implementado un sistema de bombeo que supere un desnivel topográfico máximo de 32 m mediante 3 bombas en paralelo para abastecer un caudal total de 12.43 l/s.

SECTOR 3

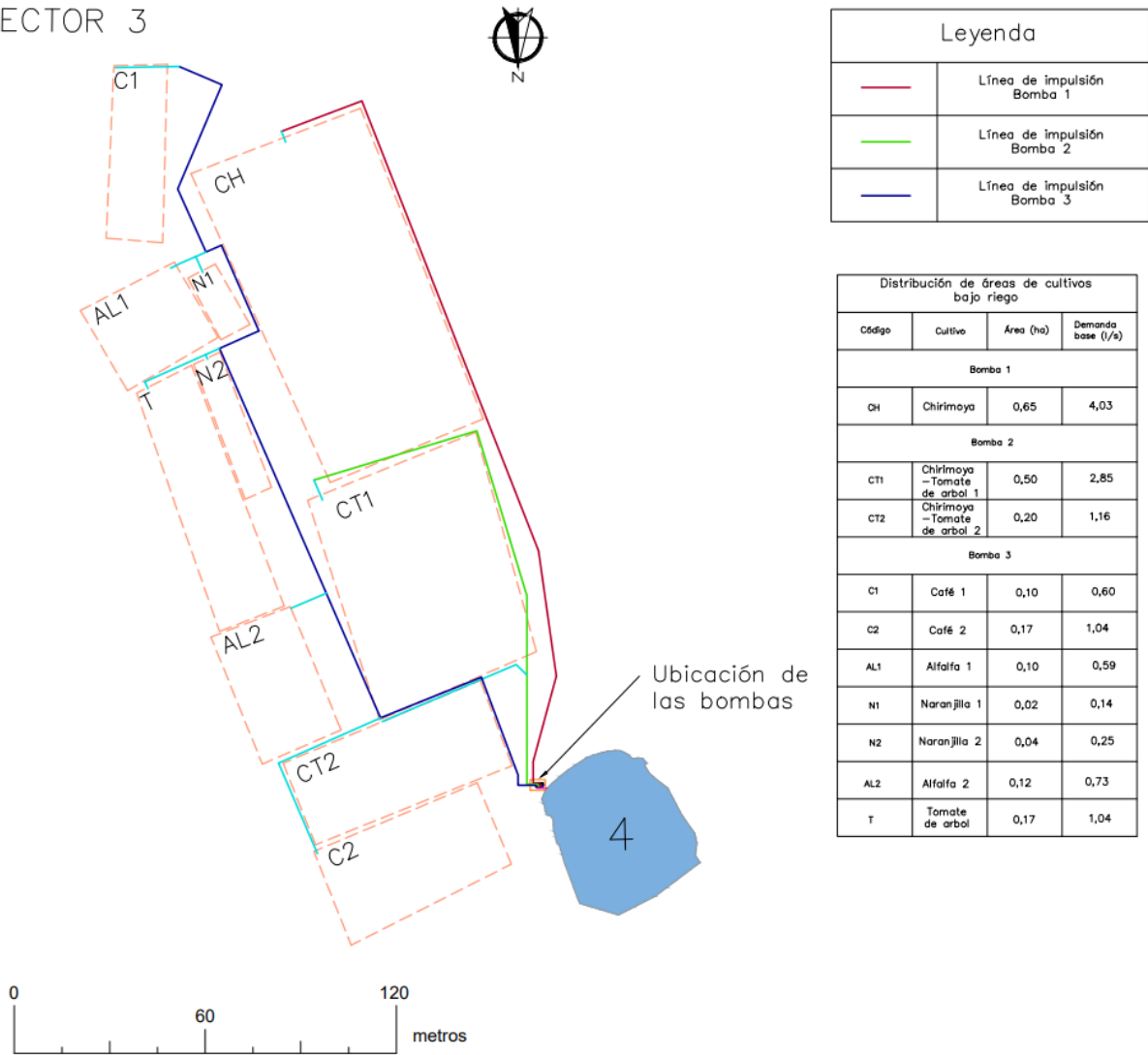


Fig. 12: Esquema hidrotécnico de distribución y áreas regables para el sector 3 considerando un sistema de bombeo desde el reservorio 4.

Las líneas de impulsión que se indican en la figura deben superar un desnivel topográfico de 8, 29 y 32 m. Las bombas abastecerían un caudal de 4.03 l/s, 4.01 l/s y 4.39 l/s respectivamente

En relación con la variante de la configuración de la conducción primaria considerada en el esquema hidrotécnico para el sector 3 de esta alternativa, se ha establecido que se requeriría una longitud de tubería de 706 m.

En cuanto al esquema hidrotécnico de manejo de reservorios para esta alternativa se establece que, el reservorio 1 abastecerá al sector 1 el primer día de riego; el reservorio 2 abastecerá al sector 2 el segundo día, y el reservorio 4 abastecerá los sectores 3, 4 y 5 el tercer, cuarto y quinto día respectivamente. Respecto al manejo integral de los reservorios, mediante el proceso de simulación de flujo oferta – demanda, de igual forma se analizaron las dos opciones de optimización de volumen y caudal consideradas en la alternativa 1 para el reservorio 4. La variación de volúmenes semanal se presenta en



el Anexo 8.

Siendo así, como resultado de la simulación se ha obtenido que, al minimizar la capacidad del reservorio 4 se requeriría un volumen de 1525 m³ (3595 m³ menos que el volumen proyectado originalmente). En cambio, al optar por un volumen de 5120 m³ (volumen originalmente proyectado), el caudal de ingreso se reduce a un valor de 2.27 l/s lo que conlleva a un valor total de caudal continuo de 3.86 l/s.

A continuación, en las Tablas 20 y 21 se presenta el análisis del manejo integrado de los reservorios para las dos opciones en consideración.

Reservorio	1	2	4		
Volumen del reservorio proyectado originalmente (m ³)	409	1142	5120		
Volumen del reservorio mínimo requerido para la simulación (m ³)	395	1100	1525		
Volumen de ingreso (m ³)	52	85.5	260		
Caudal de ingreso continuo (l/s)	0.60	0.99	3.01		
Sector a regar	1	2	3	4	5
Caudal de diseño (l/s)	8.44	14.32	12.43	11.60	11.20
Volumen de agua requerida (m ³)	365	618	537	501	485

*Tabla 20: Simulación de flujo de oferta - demanda para los reservorios contemplados en la alternativa 2 (opción 1).
El valor total de caudal continuo para la opción 1 sería de 4.60 l/s.*

Reservorio	1	2	4		
Volumen del reservorio proyectado originalmente (m ³)	409	1142	5120		
Volumen del reservorio mínimo requerido para la simulación (m ³)	395	1100	5100		
Volumen de ingreso (m ³)	52	85.5	196.50		
Caudal de ingreso continuo (l/s)	0.60	0.99	2.27		
Sector a regar	1	2	3	4	5
Caudal de diseño (l/s)	8.44	14.32	12.43	11.60	11.20
Volumen de agua requerida (m ³)	365	618	537	501	485

*Tabla 21: Simulación de flujo de oferta - demanda para los reservorios contemplados en la alternativa 2 (opción 2).
El valor total de caudal continuo para la opción 1 sería de 3.86 l/s.*

Dentro de esta alternativa, se tendría que para la primera opción los caudales de diseño para el subsistema que en este caso correspondería únicamente al reservorio 1 totalizaría un valor de 0.60 l/s, y el caudal de diseño acumulado que permitiría el manejo integrado de los reservorios 2 y 4 sería de 4.00 l/s. Mientras que para la opción dos, los caudales de diseño serían de 0.60 l/s y 3.26 l/s respectivamente (Fig. 13).

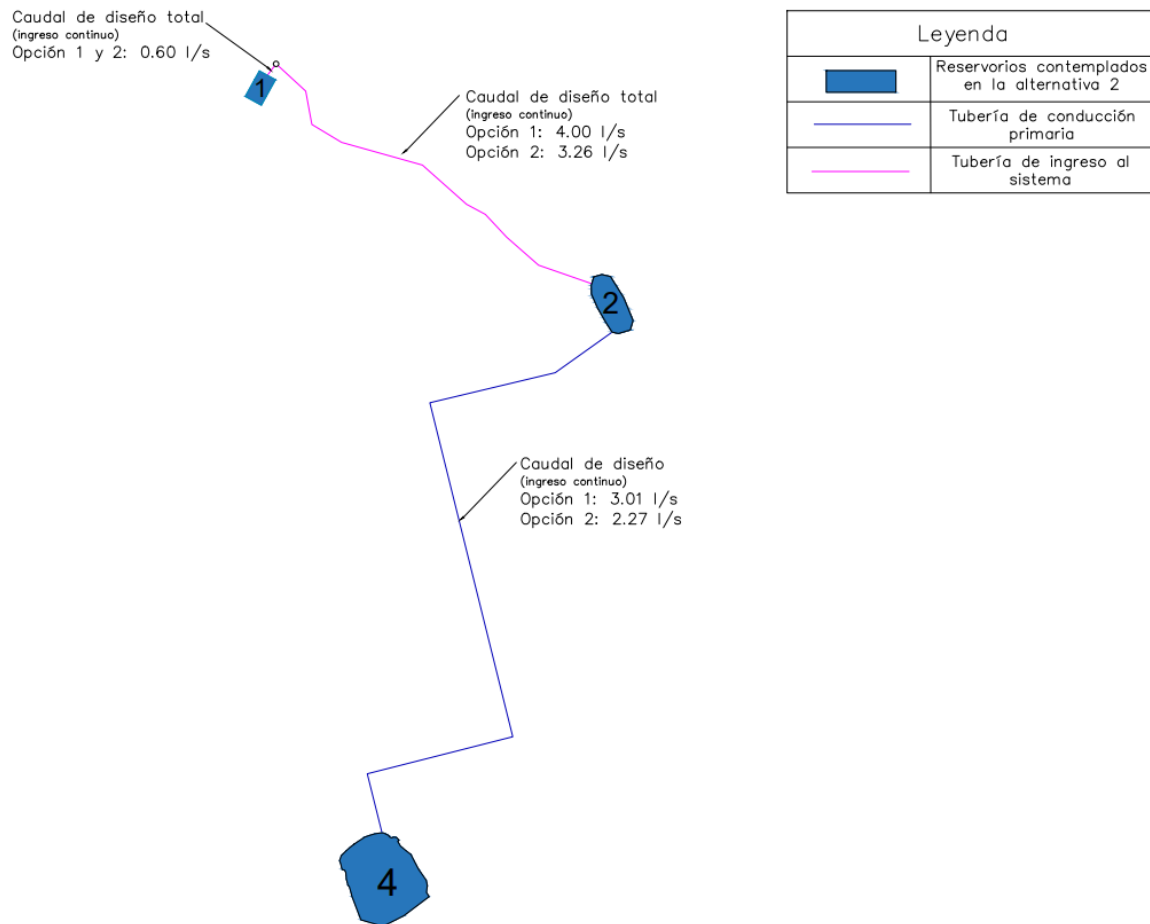


Fig. 13: Caudales de diseño para el sistema contemplando los reservorios de la alternativa 2.

3.7. Selección de la alternativa de diseño

Para el proceso de selección de alternativas de diseño, con base a la información que se ha generado tanto para la alternativa 1 como para la alternativa 2, se ha considerado los siguientes criterios:

- Diferencia en longitudes de tubería en las variantes de distribución para el sector 3.
- Diferencia en el requerimiento de tubería para interconexión de reservorios entre la alternativa 1 y alternativa 2.
- Incremento en la capacidad del diámetro para la tubería que alimenta al reservorio 4 para la alternativa 2.
- Requerimiento del sistema de bombeo contemplado en la alternativa 2.
- Optimización de volúmenes de reservorios y caudales continuos requeridos para el proyecto.

Respecto a la longitud de distribución requerida para las variantes que existen en el sector 3, resultó que, para la alternativa 2 se requiere 436 metros más que la variante contemplada en la alternativa 1 (distribución principal proyectada en PVC 110 mm). En relación con el requerimiento de tubería para interconexión, se estableció que para la alternativa 2 se requeriría 58 metros menos que en la alternativa 1, ya que no se contempla el reservorio 3.



En lo que concierne al diámetro requerido para alimentar el reservorio 4, el de la alternativa 2 es mayor al de la alternativa 1, ya que pasaría de transportar un caudal de 1.35 l/s a 2.27 l/s. Por otro lado, como se indicó para la alternativa 2, en contraste con la alternativa 1, se implementó un sistema de bombeo para superar el desnivel de 32 m y abastecer un caudal de 12.43 l/s.

De esta manera y luego de realizarse una valoración a nivel de prefactibilidad de las diferencias establecidas en cada una de las alternativas, se ha determinado que, la alternativa 2 presenta un incremento en el costo de inversión inicial de 4600 dólares americanos sobre la inversión inicial que corresponde a la alternativa 1. Además, en cuanto a los costos que se incluyen dentro de la alternativa 2 respecto a la operación del sistema de bombeo (consumo de energía) y por mantenimiento del mismo (personal técnico y ubicación de la granja), se genera un valor de alrededor de 12000 dólares americanos al año, mientras que para la alternativa 1 no se contaría con este gasto.

Finalmente, y en relación con los criterios que tiene que ver con volúmenes de almacenamiento y optimización de caudales continuos para el proyecto es importante indicar que, del análisis que se desprende de la simulación de reserva para el proyecto en la alternativa 1 y 2, resulta que en la alternativa 1 para la capacidad disponible del reservorio 4, el caudal continuo que requiere el proyecto disminuye de 4.60 l/s a 3.81 l/s, mientras que para la alternativa 2, así mismo contemplando la máxima capacidad del reservorio 4, el caudal requerido para el proyecto disminuye a 3.86 l/s.

De esta manera con los criterios antes expuestos se ha definido como la alternativa seleccionada para el diseño de la propuesta de riego tecnificado a la alternativa 1.

3.8. Diseño del sistema integral de riego tecnificado para la alternativa seleccionada

Una vez que se ha definido la alternativa 1, y considerando los esquemas hidrotécnicos de distribución para los sectores de riego, así como la interconexión de los reservorios. En la Fig. 14 se indica el esquema hidrotécnico integral final que correspondería a la alternativa seleccionada. En este esquema se indica además la configuración a nivel terciario para la distribución de agua de acuerdo a la sectorización de cultivos que ha sido planteada para el proyecto.

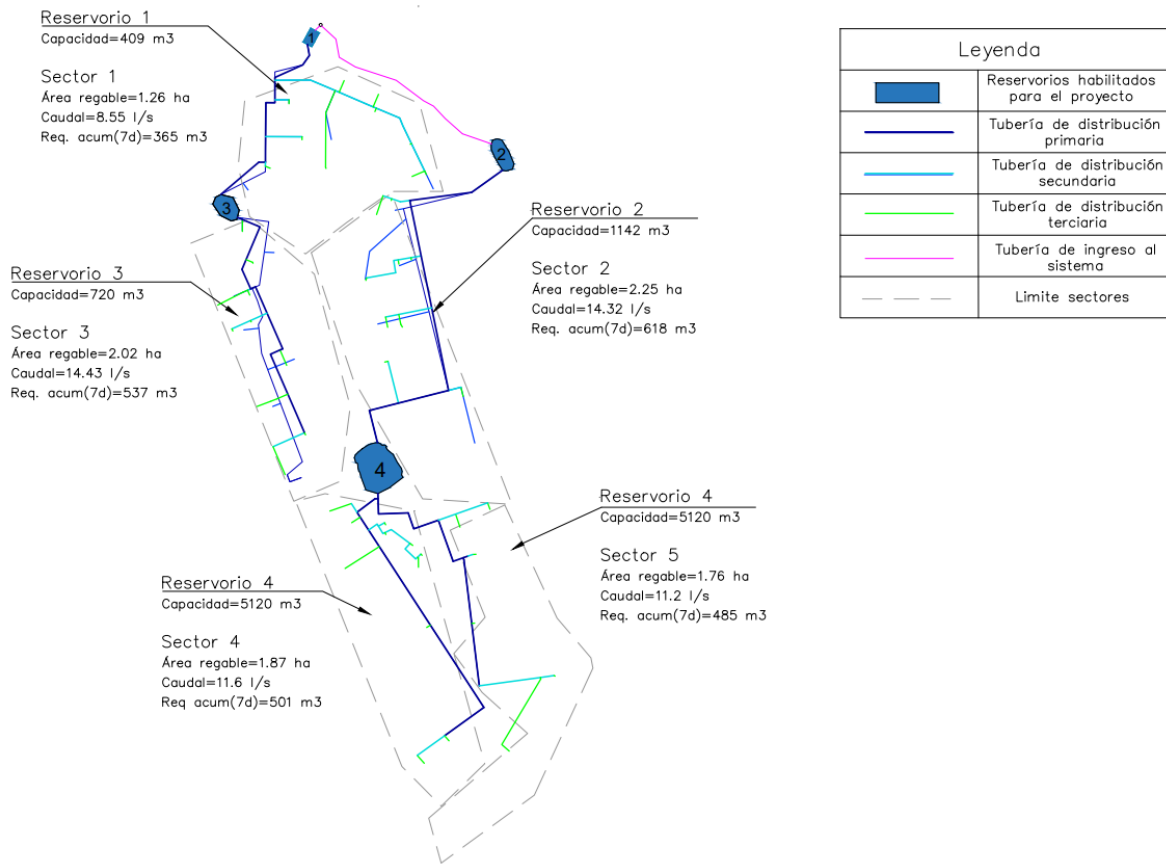


Fig. 14: Esquema hidrotécnico conceptual del sistema de distribución.

La configuración de tuberías primarias, secundarias y terciarias para cada sector, se realizó en consideración de criterios técnicos de trazado que permitan optimizar longitudes, así como la distribución de agua según los métodos de riego a contemplarse en cada área lo cual implica consideraciones respecto a rangos de presiones requeridos por dichos métodos. De manera general las consideraciones teóricas para el dimensionamiento hidráulico se fundamentan en el cálculo convencional de pérdidas por fricción y pérdidas locales mediante la ecuación de Darcy Weisbach.

3.8.1. Determinación de los caudales requeridos a nivel terciario y en la aplicación de agua de riego

La determinación de los caudales requeridos en la entrega de agua a nivel terciario y a nivel de aplicación final, se realizó mediante las consideraciones técnicas que tienen que ver con cada uno de los métodos de riego a ser aplicado (goteo, aspersión y riego superficial). Los principales criterios considerados para la determinación de los caudales en los sistemas presurizados tienen que ver con factores relacionados con la configuración del sistema de aplicación, matrices de distribución, disposición y número de laterales, rango de presiones disponibles en cada uno de los sectores, y otros aspectos menores que se tiene previsto para cada cultivo según el método que vaya a ser aplicado. De entre los factores y criterios considerados se destacan:

- Configuración general de las líneas (matrices) para la distribución del agua en el sistema presurizado. - Para favorecer las condiciones de uniformidad de presión, así como para lograr una mejor distribución que sea compatible con la topografía del terreno, se ha establecido ubicar

las cintas de goteo y laterales de aspersión en el sentido de la pendiente del terreno. La determinación de los caudales requeridos por cada línea de goteo y por cada lateral de riego por aspersión han sido establecidos en función del área neta a ser regada por cada sistema.

- Espaciamiento de aspersores y laterales. - Para el caso particular de los cultivos regados por aspersión se ha empleado como criterio básico, lograr traslapes mínimos recomendados por la literatura técnica (60% del diámetro de mojado previsto en las operaciones de riego). Para el espaciamiento entre laterales además de respetar el traslape mínimo antes indicado se ha considerado no exceder distancias que limiten una aplicación uniforme de la lámina de riego. Además, para optimizar longitudes de tubería se ha optado por recomendar tramos, espaciamientos y longitudes múltiples de 3.

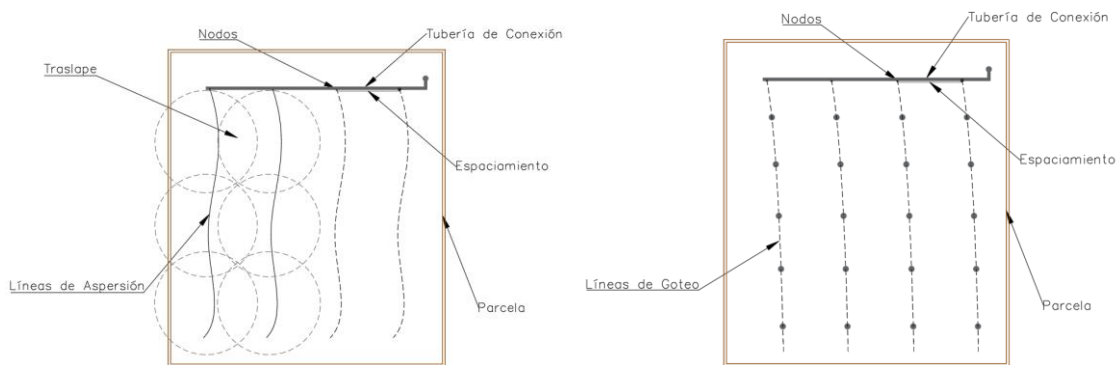


Fig. 15: Esquema de distribución de líneas de aspersión y cintas de goteo.

- Rango de presiones. - El rango de presiones establecido para el diseño de la distribución a presión (aspersión y goteo) obedece a las recomendaciones establecidas en las especificaciones técnicas convencionales del equipamiento de riego disponible en el mercado. Sin embargo, se debe mencionar que para el goteo no se ha contemplado presiones mayores a 10 m.c.a y en aspersión presiones no mayores a 30 m.c.a, esto ha permitido seleccionar de manera preliminar un rango de equipamiento que podría funcionar de acuerdo al proyecto y por lo tanto la preselección de caudales.
- Riego superficial. - Para el caso particular del método de riego por surcos, mismo que es contemplado en el proyecto para cultivos previstos a ser manejados en hilera (papa, caña de azúcar y leguminosas), se ha contemplado como criterio básico la entrega mediante tuberías de compuerta, las cuales contemplan una configuración estándar que consta de orificios espaciados cada metro a lo largo de la línea de entrega.

3.8.2. Criterios generales para el dimensionamiento hidráulico para el sistema de distribución del proyecto

- Una vez que se ha determinado los requerimientos para cada uno de los sectores se ha establecido los caudales de diseño para las líneas primarias y secundarias. Para el dimensionamiento hidráulico y el establecimiento de diámetros requeridos se ha procedido mediante una simulación a través del Epanet (Software para simulaciones de comportamiento hidráulico desarrollado por la EPA - Agencia de Protección Ambiental de EEUU). Como se indicó anteriormente el cálculo de pérdidas se realizó mediante la ecuación de Darcy Weisbach, contemplando un coeficiente global para pérdidas locales de 2.5 debido a la topografía accidentada y por seguridad en casos

de que la tubería sufra daños por actividades de pastoreo. Mientras que para las pérdidas por fricción se consideró una rugosidad de 0.02 correspondiente al material de las tuberías, que en este caso son de PVC.

- En la modelación se utilizó mayoritariamente diámetros de 110 mm para la conducción primaria; en las líneas secundarias se priorizaron diámetros de 90 mm, y para las terciarias se enfatizó el uso de diámetros de 63 mm. Es importante indicar que los diámetros ingresados para la simulación corresponden a los diámetros internos para una presión de trabajo no menor a 0.63 MPa.
- Para el dimensionamiento de las tuberías se contempló que los rangos de presiones estén en el rango de 30 a 40 m.c.a para líneas primarias. En las líneas secundarias, la presión se ha establecido en el orden de 20 a 40 m.c.a., mientras que en las terciarias se ha establecido en el orden de 10 a 20 m.c.a. como presión nominal que pueda solventar los requerimientos para aspersión y goteo.

3.8.3. Diseño de las líneas de distribución para cada sector

Tubería de ingreso al sistema (ramal de distribución para los reservorios 1 y 2)

Los reservorios 1 y 2 se abastecen de un sistema común, mismo que consta de las tuberías que se indican en la Fig. 17. Estas tuberías han sido planteadas con diámetro de 90 mm luego de la simulación en Epanet.

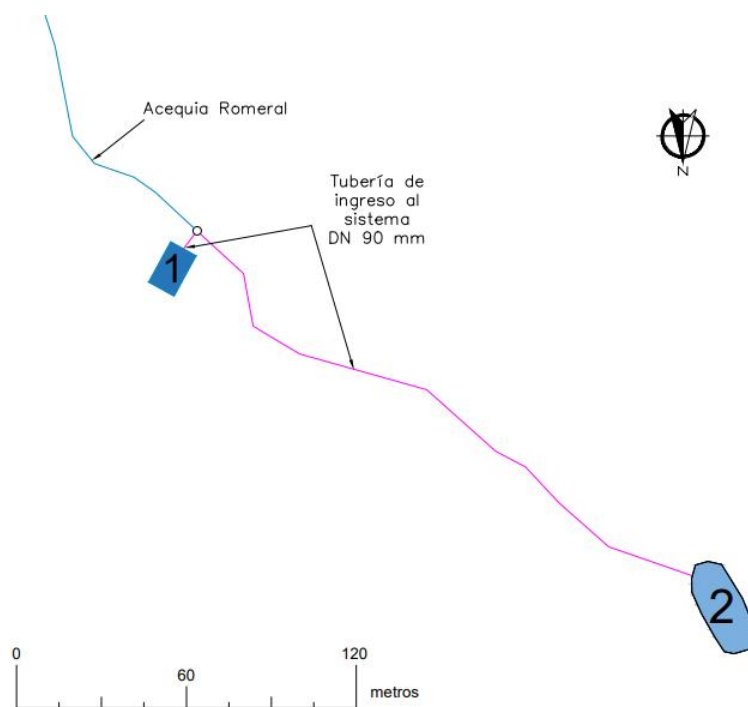


Fig. 16: Tuberías de ingreso al sistema.

Cálculo hidráulico para las líneas de distribución en cada sector

Los cálculos realizados para determinar los caudales de las cintas de goteo para cada sector contemplan



los siguientes criterios:

- Columna 1. Espaciamiento entre cintas de goteo (m), que dependen del tipo de cultivo.*
- Columna 2. Longitud de tubería de conexión con las cintas de goteo (m).*
- Columna 3. Número de cintas de goteo para el cultivo. Se obtiene al dividir la columna 2 para la columna 1.*
- Columna 4. Demanda base del cultivo (l/s).*
- Columna 5. Caudal para cada cinta de goteo. Se calcula al dividir la columna 4 entre la columna 3 (l/s).*
- Columna 6. Longitud de la cinta de goteo (m).*
- Columna 7. Capacidad de la cinta de goteo que se obtiene al dividir la columna 5 para la columna 6 y multiplicado por 3600 para que esté en unidades de (l/h/m). Los valores de la columna 7 deben encontrarse aproximadamente dentro del rango de la capacidad de la cinta comercial.*

En cuanto al cálculo del número de aspersores, se parte inicialmente de que los mismos cuentan con una capacidad promedio de 0.20 l/s. De esta manera, se ha establecido el número de aspersores y su distribución en el área de riego considerando los siguientes criterios:

- Columna 1. Espaciamiento entre laterales de aspersión (m).*
- Columna 2. Espaciamiento entre aspersores (m).*
- Columna 3. Longitud de la tubería que conecta las líneas de aspersión (m).*
- Columna 4. Longitud de la línea de aspersión (m).*
- Columna 5. Número de líneas de aspersión.*
- Columna 6. Número de aspersores por cada línea de aspersión.*
- Columna 7. Demanda base del cultivo (l/s).*
- Columna 8. Número de aspersores que trabajan en función de su capacidad. Se obtiene al dividir la columna 7 para la capacidad del aspersor.*

Para el método de riego por surcos, el cálculo del número de orificios que tendría la tubería de compuerta y el caudal correspondiente a dichos orificios, está sujeto a las siguientes consideraciones:

- Columna 1. Espaciamiento entre hileras (m).*
- Columna 2. Longitud de la tubería de compuerta (m).*
- Columna 3. Número de orificios.*
- Columna 4. Demanda base del cultivo (l/s).*
- Columna 5. Caudal para cada orificio (l/s).*

Siendo así, los cálculos correspondientes para cada sector se indican en las Tablas 22 hasta la 30.

Sector 1

Cultivos	⁽¹⁾ Espaciamiento (m)	⁽²⁾ Longitud tubería de conexión (m)	⁽³⁾ # Cintas de goteo	⁽⁴⁾ Demanda base del cultivo (l/s)	⁽⁵⁾ Caudal para cada cinta (l/s)	⁽⁶⁾ Longitud de la cinta de goteo (m)	⁽⁷⁾ Caudal por metro de longitud de cinta de goteo (l/h/m)
Aguacate - reina claudia	2	32	16	0.34	0.02	13	5.84
Naranja 1	2	26	13	0.26	0.02	14	5.18
Naranja 2	2	18	9	0.11	0.01	9	5.06
Naranja 3	2	13	7	0.06	0.01	7	5.03
Naranja 4	2	21	11	0.43	0.04	29	5.12
Uvilla	1.5	36	24	1.2	0.05	43	4.18
Terraza de higo	2	31	16	0.68	0.04	28	5.67
Durazno	3	41	14	0.46	0.03	17	7.12
Cítricos	1.5	40	27	0.58	0.02	20	3.88
Cultivo bajo invernadero 1	1.5	25	17	0.51	0.03	29	3.80
Cultivo bajo invernadero 2	1.5	24	16	0.32	0.02	21	3.40

Tabla 22: Número de cintas de goteo y sus caudales respectivos – Sector 1.



Cultivos	(1) Espaciamento entre laterales de aspersión (m)	(2) Espaciamento entre aspersores (m)	(3) Longitud de la tubería que conecta las líneas de aspersión (m)	(4) Longitud de la línea de aspersión (m)	(5) # Líneas de aspersión	(6) # Aspersores/línea de aspersión	(7) Demanda base del cultivo (l/s)	(8) # Aspersores en funcionamiento considerando la capacidad del aspersor
Pasto natural 1	15	15	46	55	3	4	2.18	10
Pasto natural 2	15	15	26	32	2	2	0.59	3

Tabla 23: Aspersores en funcionamiento de acuerdo a su capacidad – Sector 1.

Debido al caudal de diseño, se encontrarían trabajando máximo diez aspersores para el pasto natural 1 y tres para el pasto natural 2.

Sector 2

Cultivos	(1) Espaciamento (m)	(2) Longitud tubería de conexión (m)	(3) # Cintas de goteo	(4) Demanda base del cultivo (l/s)	(5) Caudal para cada cinta (l/s)	(6) Longitud de la cinta de goteo (m)	(7) Caudal por metro de longitud de cinta de goteo (l/h/m)
Manzana lote A - lote B	3	81	27	6.39	0.24	118	7.1
Manzana lote C	3	45	15	1.4	0.09	46	7.2
Naranja 1	2	62.5	31	2.65	0.08	66	4.5
Naranja 2	2	24	12	1.42	0.12	84	5
Café - higo	2.5	27	11	0.29	0.03	17	5.6
Tomate de árbol	2.5	20	8	0.87	0.11	71	5.4
Mora	2	24	12	0.49	0.04	28	5.17

Tabla 24: Número de cintas de goteo y sus caudales respectivos – Sector 2.

Cultivos	(1) Espaciamento (m)	(2) Longitud tubería de compuerta (m)	(3) # Orificios	(4) Demanda base del cultivo (l/s)	(5) Caudal para cada orificio (l/s)
Leguminosas	1	7	8	0.17	0.021
Caña de azúcar	1	12	13	0.31	0.024

Tabla 25: Número de orificios y sus caudales respectivos – Sector 2.

Sector 3

Cultivos	(1) Espaciamento (m)	(2) Longitud tubería de conexión (m)	(3) # Cintas de goteo	(4) Demanda base del cultivo (l/s)	(5) Caudal para cada cinta (l/s)	(6) Longitud de la cinta de goteo (m)	(7) Caudal por metro de longitud de cinta de goteo (l/h/m)
Café 1	2.5	17	7	0.6	0.09	54	6.07
Café 2	2.5	53	21	1.04	0.05	32	5.54
2 tomate de A	2.5	18	7	1.04	0.14	79	6.56
1 chirimoya - 2 tomate de A 1	2.5	55	22	2.85	0.13	72	6.48
1 chirimoya - 2 tomate de A 2	2.5	64	26	1.16	0.05	28	5.8
Chirimoya	3	54	18	4.03	0.22	105	7.67
Naranja 1	2	9.7	5	0.14	0.03	22	4.57
Naranja 2	2	9	5	0.25	0.06	46	4.42

Tabla 26: Número de cintas de goteo y sus caudales respectivos – Sector 3.



Cultivos	(1) Espaciamiento entre laterales de aspersión (m)	(2) Espaciamiento entre aspersores (m)	(3) Longitud de la tubería que conecta las líneas de aspersión (m)	(4) Longitud de la línea de aspersión (m)	(5) # Líneas de aspersión	(6) # Aspersores/línea de aspersión	(7) Demanda base del cultivo (l/s)	(8) # Aspersores en funcionamiento considerando la capacidad del aspersor
Alfalfa 1	9	9	33	29.3	4	3	0.59	3
Alfalfa 2	15	15	27	42	2	3	0.73	4

Tabla 27: Aspersores en funcionamiento de acuerdo a su capacidad – Sector 3.

Respecto al caudal de diseño, se encontrarían trabajando máximo tres aspersores para el cultivo de alfalfa 1 y cuatro aspersores para el cultivo de alfalfa 2.

Sector 4

Cultivos	(1) Espaciamiento (m)	(2) Longitud tubería de conexión (m)	(3) # Cintas de goteo	(4) Demanda base del cultivo (l/s)	(5) Caudal para cada cinta (l/s)	(6) Longitud de la cinta de goteo (m)	(7) Caudal por metro de longitud de cinta de goteo (l/h/m)
Café	2.5	29	12	0.11	0.01	6	5.52
Chirimoya	2.5	49	19	1.14	0.06	37	5.72
Tomate de árbol 1	2.5	59	24	2.68	0.11	72	5.68
Tomate de árbol 2	2.5	70	28	4.92	0.18	99	6.38
Pimiento	1.5	20	13	0.31	0.02	25	3.39
Uvilla	1.5	13	9	0.08	0.01	12	2.82
Papaya	2.5	4.15	2	0.01	0.01	6	4.97
Fréjol – Tomate de árbol	2.5	16.32	7	0.28	0.04	28	5.60
Tomate de árbol	2.5	32.8	13	0.89	0.07	46	5.34
Cultivos de ciclo corto	1.5	20	13	0.25	0.02	21	3.18
Plantas medicinales	1.5	4.22	3	0.05	0.02	20	3.15
Hortalizas	1.5	32.8	22	0.87	0.04	45	3.17

Tabla 28: Número de cintas de goteo y sus caudales respectivos – Sector 4.

Sector 5

Cultivos	(1) Espaciamiento (m)	(2) Longitud tubería de conexión (m)	(3) # Cintas de goteo	(4) Demanda base del cultivo (l/s)	(5) Caudal para cada cinta (l/s)	(6) Longitud de la cinta de goteo (m)	(7) Caudal por metro de longitud de cinta de goteo (l/h/m)
Café 1	2.5	97	39	1.53	0.04	26	5.45
Café 2	2.5	127	51	3.17	0.06	38	5.91
Tomate árbol	2.5	75.4	30	3.04	0.1	62	5.86
Manzana Ana lote D	3	51	17	2.18	0.13	65	7.09
Limón	1.5	32	21	0.53	0.03	25	3.61

Tabla 29: Número de cintas de goteo y sus caudales respectivos – Sector 5.

Cultivos	(1) Espaciamiento (m)	(2) Longitud tubería de compuerta (m)	(3) # Orificios	(4) Demanda base del cultivo (l/s)	(5) Caudal para cada orificio (l/s)
Papa	1	26	27	0.62	0.023

Tabla 30: Número de orificios y sus caudales respectivos – Sector 5.

Partiendo de los caudales y los criterios generales para el dimensionamiento hidráulico ya mencionados, se obtuvo de la simulación final un conjunto de gráficos que indican el rango de presiones para las distribuciones de cada sector (primarias, secundarias, terciarias y a nivel de aplicación), dichos gráficos se pueden revisar en el Anexo 9. Las presiones y los diámetros finales para las líneas de distribución primaria y secundaria se resumen a continuación.

Sector	Línea de distribución primaria			Línea de distribución secundaria		
	Longitud (m)	Diámetro nominal (mm)	Rango de presiones (m.c.a.)	Longitud (m)	Diámetro nominal (mm)	Rango de presiones (m.c.a.)
1	197	110	(0 – 36)	251	90	(6 – 27)
2	383	90	(0 – 54)	192	75	(21 – 50)
3	269	110	(0 – 36)	78	90	(3 – 35)
4	318	110	(0 – 28)	103	90	(1 – 27)
5	287	110	(0 – 25)	135	90	(1 – 26)

Tabla 31: Longitud de tubería, diámetros nominales y rango de presiones para la distribución primaria y secundaria de cada sector. Para el sector 2, se obtienen presiones mayores a las contempladas, debido al desnivel que existe entre el reservorio 2 y el punto más bajo de las distribuciones.

Además se elaboró fichas técnicas para cada sector a nivel de aplicación, en las que se detallan especificaciones técnicas del sistema de riego, tales como: presión media en los nodos de aplicación de los métodos de riego, el diámetro nominal de la tubería de conexión de los nodos, el tiempo de riego, las demandas base de los cultivos, método de riego y observaciones (Anexo 10). Es importante indicar que en las áreas bajo riego por goteo, en algunos casos se tienen presiones de entrada mayores a las de las cintas comerciales, por lo que se necesitaría de un tanque rompe presiones para aliviar la presión a la entrada de cada cultivo. Para las áreas bajo riego por aspersión, se indica el rango de presiones de los aspersores comerciales que funcionarían correctamente para la aplicación de este método. Los aspersores seleccionados, además tienen capacidades nominales de alrededor de 0.20 l/s, estimándose de acuerdo a su configuración en el área de riego, una pluviosidad media de 7.7 mm/h, misma que es menor al valor de conductividad hidráulica del suelo más representativo dentro del proyecto.

Finalmente, los componentes del sistema de riego tecnificado como: reservorios, tuberías, válvulas recomendadas para el manejo de reservorios, así como para el mantenimiento del sistema, ubicación recomendada para los tanques rompedores, entre otros detalles se encuentran en el plano anexado (Anexo 11).

3.9. Presupuesto para el proyecto de la alternativa seleccionada

El presupuesto referencial para la alternativa seleccionada se ha establecido mediante un análisis de precios unitarios, siendo el presupuesto de todo el proyecto el que se indica a continuación.

Presupuesto referencial				
Proyecto: Sistema integral de riego tecnificado para la granja el Romeral de la Universidad de Cuenca				
Item	Descripción	Cantidad	P. U.	P. Total
1	Tubo u-PVC E/C 110 mm 0,63 MPa	179	31.35	5611.65
2	Tubo u-PVC E/C 90 mm 0,63 MPa	197	22.59	4451.02
3	Tubo u-PVC E/C 75 mm 0,63 MPa	32	18.30	585.60
4	Tubo u-PVC E/C 63 mm 0,63 MPa	103	15.21	1566.94



5	Tubo u-PVC E/C 50 mm 0,8 MPa	91	12.68	1154.15
6	Tubo u-PVC E/C 40 mm 1 MPa	207	7.02	1452.73
7	Tubo u-PVC E/C 32 mm 1 MPa	51	6.13	312.48
8	Tubo u-PVC E/C 25 mm 1 MPa	3	4.98	12.46
9	Unión soldable E/C 110 mm	36	6.05	217.80
10	Unión soldable E/C 90 mm	34	4.36	148.10
11	Unión soldable E/C 75 mm	7	3.15	22.02
12	Unión soldable E/C 63 mm	20	2.96	59.29
13	Codo E/C x 90° 110 mm	12	6.90	82.76
14	Codo E/C x 90° 90 mm	24	4.97	119.18
15	Codo E/C x 90° 75 mm	12	3.59	43.04
16	Codo E/C x 90° 63 mm	18	2.79	50.29
17	Codo E/C x 90° 40 mm	4	0.99	3.96
18	Codo E/C x 90° 32 mm	3	0.17	0.50
19	Codo E/C x 45° 110 mm	5	7.93	39.66
20	Codo E/C x 45° 90 mm	2	5.71	11.42
21	Codo E/C x 45° 75 mm	1	4.12	4.12
22	Codo E/C x 45° 63 mm	5	2.87	14.36
23	Collar derivación 40 mm x 3/4"	6	2.20	13.20
24	Collar derivación 32 mm x 3/4"	16	1.98	31.68
25	Reductor buje E/C 110 a 90 mm	8	1.91	15.27
26	Reductor buje E/C 90 a 75 mm	2	0.99	1.98
27	Reductor buje E/C 90 a 63 mm	16	1.37	21.98
28	Reductor buje E/C 75 a 63 mm	3	1.11	3.34
29	Reductor buje E/C 63 a 50 mm	4	0.94	3.74
30	Reductor largo E/C 63 a 40 mm	11	1.10	12.10
31	Reductor largo E/C 63 a 32 mm	1	1.25	1.25
32	Tee E/C 110 mm	6	15.03	90.16
33	Tee E/C 90 mm	6	6.34	38.02
34	Tee E/C 50 mm	1	1.85	1.85
35	Tee E/C 32 mm	4	0.52	2.07
36	Tee reductora E/C 110 a 90 mm	7	5.32	37.24
37	Tee reductora E/C 110 a 63 mm	6	5.66	33.94
38	Tee reductora E/C 90 a 75 mm	3	5.03	15.09
39	Tee reductora E/C 90 a 63 mm	11	4.07	44.80
40	Tee reductora E/C 75 a 63 mm	4	3.30	13.20
41	Tee reductora E/C 63 a 50 mm	3	2.61	7.82
42	Tee reductora E/C 63 a 40 mm	30	2.77	83.16
43	POLI PEGA 3785 cc	4	65.71	262.86
44	Acondicionador P/Sold TUB POLI-LIMPIA 1.000cc	18	12.82	230.67
45	Aspersor 3/4" (7 – 25 m.c.a.)	3	2.31	6.93
46	Aspersor 3/4" (21 – 42 m.c.a.)	19	2.53	48.07
47	Rollo cinta de riego p/goteo espesor 13 Mil x 1524 m	22	146.69	3227.07
48	Conector con caucho de PVC a cinta de riego	720	1.05	752.40
49	Válvula de Bola PVC C/Unión Universal E/C 110 mm	4	26.26	105.05



50	Válvula de Bola PVC C/Unión Universal E/C 90 mm	21	18.91	397.09	
51	Válvula de Bola PVC C/Unión Universal E/C 75 mm	11	13.66	150.22	
52	Válvula de Bola PVC C/Unión Universal E/C 63 mm	38	12.87	489.01	
53	Válvula de Bola PVC C/Unión Universal E/C 50 mm	1	10.51	10.51	
54	Válvula de Bola PVC C/Unión Universal E/C 40 mm	9	6.77	60.89	
55	Válvula de Bola PVC C/Unión Universal E/C 32 mm	6	6.25	37.49	
56	Adaptador Hembra E/C 40 a 1 1/4"	5	0.89	4.46	
57	Adaptador Macho E/C 40 a 1 1/4"	2	0.75	1.50	
58	Adaptador Hembra E/C 32 a 1"	5	0.62	3.08	
59	Adaptador Macho E/C 32 a 1"	5	0.41	2.04	
60	Adaptador Hembra E/C 25 a 3/4"	22	0.30	6.53	
61	Adaptador Macho E/C 25 a 3/4"	22	0.24	5.32	
62	Tapón Hembra E/C 50 mm	10	0.86	8.58	
63	Tapón Hembra E/C 40 mm	68	0.34	23.19	
64	Tapón Hembra E/C 32 mm	6	0.28	1.65	
65	Metro cúbico hormigón f'c 210 kg/cm2	11,80	90.00	1061.91	
				Subtotal	20837.18
				I.V.A (12%)	2500.46
				Total	23337.64

Tabla 32: Presupuesto referencial para la alternativa seleccionada.



4. Conclusiones y Recomendaciones

En el presente estudio se ha realizado el diseño de una propuesta para un sistema integral de riego tecnificado para la Granja de El Romeral de la Universidad de Cuenca. El estudio ha contemplado: i) La caracterización biofísica general para la zona de estudio, incluyéndose una identificación de infraestructura existente y su estado, ii) El planteamiento y análisis a nivel de prefactibilidad de dos alternativas técnicas en función de los requerimientos identificados y considerando aspectos relacionados con prácticas de manejo previstas en El Romeral, y iii) El diseño de un sistema integral de riego tecnificado para la alternativa seleccionada que incluye una valoración de presupuesto para su implementación.

La zona de estudio ha sido caracterizada, desde la perspectiva agroecológica, dentro de la zona 5 según la Zonificación Agroecológica del Austro Ecuatoriano (Dercon et al., 1998). Su clima corresponde a un trópico moderadamente fresco, y de acuerdo al análisis realizado para precipitación y evapotranspiración de referencia se ha concluido una duración del periodo de crecimiento de 7 meses y un periodo húmedo de 1 mes.

Para el estudio se dispuso de una planificación de cultivos dada por la administración de la granja de El Romeral. En dicha planificación se indica los diferentes tipos de cultivos, su superficie, y su emplazamiento dentro de la zona regable.

En relación con la tipificación de los suelos, se ha identificado tres tipos de suelo (franco arcilloso, franco, y arcilloso). Sin embargo, el estudio establece que, para efectos de un diseño tecnificado de sistemas de riego, así como, para el manejo de tierras, se puede considerar como representativos los tipos de suelo, franco arcilloso y franco, que representan el 82.5% y 11.7% de la superficie bajo riego respectivamente.

Para la dotación de agua de riego, para el proyecto se dispone como fuente la quebrada Shushcurrum que pertenece a la Junta de Riego del cantón Guachapala. De dicha fuente, al momento del estudio, se dispondría de 3.18 l/s como caudal adjudicado.

El reconocimiento de infraestructura existente, ha permitido establecer que para la granja de El Romeral se dispondría de 4 reservorios habilitados. Por otro lado, se recomienda que la red de tuberías existentes y sistema de acequias deberá ser remplazado por un sistema presurizado integral de acuerdo al diseño planteado en este estudio.

Para el estudio se ha realizado un análisis conjunto de la información climatológica, así como, de las propiedades fisiológicas básicas y manejo de cultivos desde una perspectiva de ingeniería de riego. De esta manera, para la determinación del uso consuntivo y las necesidades de agua del proyecto, se ha calculado los valores mensuales de evapotranspiración de referencia mediante el método de FAO-Penman-Monteith, mientras que, para determinar las necesidades mensuales en términos de evapotranspiración de los cultivos a establecerse en la zona se ha considerado los coeficientes de cultivo recomendados por la FAO. Es importante indicar que luego de haberse analizado la información de precipitación disponible para la zona de estudio, se concluyó que, debido al escaso periodo de registro, y considerándose los valores poco representativos desde el punto de vista de contribución a riego, para el estudio se optó por no considerar el aporte de la precipitación efectiva con el propósito de disponer de un diseño técnico seguro.

Para el análisis de las necesidades hídricas y posterior diseño de los sistemas, se ha dividido la zona del proyecto en 5 sectores. El análisis de necesidades hídricas realizado en cada uno de los sectores, según la rotación de cultivos planificada, permite concluir que, el máximo valor de requerimiento bruto diario de agua para el proyecto, corresponde al mes de noviembre, habiéndose obtenido para dicho mes, valores



de entre 52.08 m³ a 88.35 m³.

Si bien en el estudio se ha contemplado diversos métodos de riego, se propone que la mayoría de cultivos planificados sean regados mediante goteo.

En consideración de la superficie total a ser regada, se ha establecido finalmente para el proyecto un caudal característico de 0.5 l/s/ha, caracterizándolo como un sistema con requerimientos convencionales de recurso hídrico para agricultura irrigada. Por otro lado, y considerando las particularidades de cada uno de los 5 sectores, se ha establecido para el proyecto un caudal continuo equivalente de 4.60 l/s que incluye eficiencias ponderadas de aplicación y eficiencias proyectadas en el sistema de conducción. Contrastando el caudal continuo equivalente requerido para el proyecto, con el caudal continuo adjudicado de 3.18 l/s, se concluye un déficit inicial en la fuente de 1.42 l/s.

En consideración de la información edafológica disponible, y del establecimiento de profundidades de riego, en el estudio se ha definido un rango de valores de diseño para el humedecimiento del suelo en términos de agua realmente aprovechable RAW y en términos de dosis de riego. Los valores de diseño establecidos para RAW corresponden a los valores promedio que se obtienen de los cálculos realizados para las condiciones más desfavorables y menos desfavorables desde la perspectiva del suelo como un medio de regulación natural de agua para los cultivos. De esta forma, para el estudio se ha definido para los sectores de riego que, las capacidades para agua realmente aprovechable RAW estarían en el rango de 31 mm a 51 mm, mientras que las dosis netas estarían en el rango de 24 a 33 mm, dosis que se consideran adecuadas para los métodos de riego y prácticas de manejo.

Para el proyecto, se ha establecido a nivel de prefactibilidad, 2 alternativas de diseño, en las cuales se contemplaron aspectos comunes relacionados con: la sectorización de áreas regables, los caudales de diseño, correspondientes a cada área regable, y los esquemas hidrotécnicos respectivos. Como aspectos diferenciados en las alternativas se debe señalar: variantes en el modelo para manejo integrado de reservorios, variante en la configuración de la línea de conducción primaria para el sector 3, e implementación de un sistema de bombeo para maximización de almacenamiento del reservorio 4. Dado que se dispondría de un sistema de reservorios, en el estudio se ha incorporado un análisis de optimización de reserva mediante la examinación del flujo de oferta-demanda del recurso hídrico, el cual forma parte de las alternativas de diseño que fueron identificadas para el proyecto.

El estudio de optimización para el manejo integral de los reservorios permite establecer que el caudal continuo equivalente requerido para la alternativa 1 y para la alternativa 2 sería de 3.81 l/s y 3.86 l/s respectivamente.

En consideración de criterios que tienen que ver con las diferencias valoradas de infraestructura y operaciones requeridas, así como, con las diferencias en cuanto a requerimiento de caudal para el proyecto, para el estudio se ha seleccionado la alternativa 1, la cual consta básicamente de un manejo de dos subsistemas de reservorios integrados y el diseño tecnificado de distribución presurizada en 5 sectores que contempla mayoritariamente la aplicación de agua de riego mediante goteo.

El presupuesto referencial correspondiente a la alternativa seleccionada se estableció en un total de 23337.64 dólares americanos para la implementación del proyecto dentro de la granja "El Romeral".

El estudio permite concluir que el diseño de un sistema que contemple manejo de reservorios y el empleo de métodos de riego por goteo y aspersión en zonas de montaña, favorecen aspectos de eficiencia de aplicación, economía del proyecto, y optimización del recurso hídrico. En este sentido, cabe relieves los valores de caudal continuo equivalente requeridos para el proyecto en términos de un manejo integral, en contraste con el caudal continuo global inicialmente establecido en 4.60 l/s. Considerando además el



caudal que al momento se encuentra adjudicado para el proyecto, se indica además la importancia de disponerse de un modelo de manejo de reserva de agua, pues, el déficit de recurso inicialmente identificado de 1.42 l/s, disminuye considerablemente, y para el caso particular de la alternativa seleccionada, si se mantiene bajo riego la superficie total proyectada en el estudio, se tiene que el déficit en la adjudicación sería tan solo de 0.60 l/s.

En este sentido, se recomienda finalmente que, para efectos de ajustar las necesidades de recurso hídrico con la adjudicación disponible actual, se priorice en la granja El Romeral, aquellas zonas que deberán mantener la superficie planificada, por sobre otras áreas, en las cuales se deberá considerar una ligera disminución de superficie bajo riego.



5. Referencias bibliográficas

- Allen, R. G. (2006). Evapotranspiración de cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma.
- Aidarov, I.P., Golovanov, A.I., y Mamaev, M.G. (1985). El Riego. Editorial Mir. Moscú
- Díaz Granda, L. (2010). Estudio de impacto ambiental producido en la granja agrícola “El Romeral”. Cuenca.
- Guerra Moscoso, M. A. (2009). Manual de Diseño de Sistemas de Riego a Gravedad y por Aspersión. Quito.
- Pacheco T., E. A. & Carrillo V. (2018). Elementos de Ingeniería de Riego, Notas de Curso, Universidad de Cuenca.
- Dercon, G., Bossuyt, B., De Bièvre, B., Cisneros, F., Deckers, J., (1998) Zonificación Agroecológica del Austro Ecuatoriano. Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería.
- Cisneros F, Pacheco E. (1999) Análisis cuantitativo de la performance de riego por surcos en el Austro Ecuatoriano, en pendientes mayores al 12 %. Anales de la Universidad de Cuenca, Ciencias Naturales, Volumen 1, Cuenca, Ecuador, p. 65-86.
- Cisneros, F., Pacheco E., Torres P., Timbe E. Feyen J. (2002) Métodos de Riego y Control de Erosión en Suelos Andinos. Anales – Revista de la Universidad de Cuenca, Anexo – Instituto de Investigaciones, Anexo tomo 46, pag. 31-48. Cuenca – Ecuador.
- Cisneros F, Pacheco E., Feyen J. (2005) Assessment of the performance of low rate sprinkler irrigation systems a function of extension support, Revista Anales de la Universidad de Cuenca – Ciencias Naturales, Tomo 49 p. 79-88.
- Sucoshañay D., Dewulf A., Pacheco E., Ramírez M., Craps M., Bouwen R. (2005) Pautas metodológicas para la implementación participativa de nuevas tecnologías: experiencias con tecnología de riego en el Austro Ecuatoriano, Revista Anales de la Universidad de Cuenca – Ciencias Naturales Tomo 49 p. 89-109.
- Cisneros F., Pacheco E., Feyen J. (2007) Evaluación del Rendimiento de Sistemas de Riego por Aspersión de Baja Pluviosidad como Resultado de la Aplicación de la Extensión como Soporte Técnico. Ingeniería del Agua, Vol 14. N° 3.
- Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith, (2006) Evapotranspiración del cultivo-Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos-, ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE N° 56, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN Roma, 2006
- FAO (2006a), Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Estudio FAO riego y drenaje 56, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 2006



FAO (2006b), Permeabilidad de Suelos, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 2006

Rossmann, Lewis (2002). EPANET 2.0 vE. Software para simulaciones de comportamiento hidráulico desarrollado por la EPA, Agencia de Protección Ambiental de EEUU.



6. Anexos

Anexo 1

Datos Meteorológicos – Granja “El Romeral”. Fuente: Facultad de Agronomía de la Universidad de Cuenca

ESTACIÓN METEOROLÓGICA "EL Romeral"	
Latitud	2°45'40"S
Longitud	78°43'0"O
Elevación	2190 m.s.n.m

Temperatura

TEMPERATURA (°C)									
AÑO	2017			2018			2019		
MES	MEAN MAX	MEAN MIN	MEAN	MEAN MAX	MEAN MIN	MEAN	MEAN MAX	MEAN MIN	MEAN
1	23.6	13.2	16.7	22.4	11.7	16.3	22.9	12.8	16.7
2	22.9	12.5	16	23.8	12.7	17.2	22.7	13.6	17.1
3	23.4	13.3	16.7	22.8	12.3	16.7	23.3	13.1	17.3
4	23.8	13	16.9	22.4	12	15.8	23.6	12.9	16.9
5	23.6	12.6	16.6	21.9	12.7	16.1	22.5	12.3	16.4
6	23.1	13.2	16.8	20.5	11.5	15.2	20.1	12	15.2
7	19.6	9.9	14.3	20.1	10.9	14.9	20.2	10.9	14.8
8				20.6	11	14.9	19.2	10.5	14.3
9	21.4	11.4	15.8	22.2	10.2	15.4	22	10.4	15.3
10	22.5	11.4	16	24.6	11.9	17.2	22.2	12	16.2
11				24.5	13.2	17.6	23.7	12.6	16.8
12	23.7	12.5	16.9	21.4	12.8	16.2			

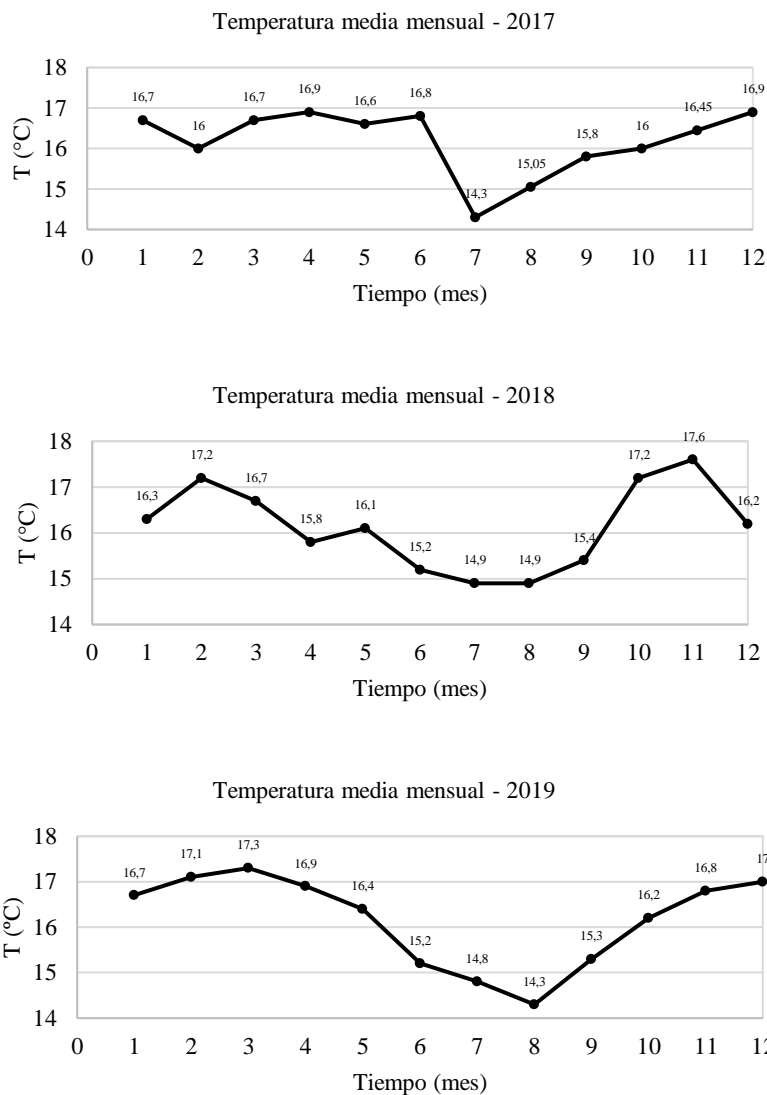
Precipitación y velocidad de viento promedio

Año Mes	PRECIPITACIÓN (mm)			VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO (m/s)		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
1	14.6	7.1	104.1	0.5	1	0.8
2	13.4	79.2	86.6	0.3	1	0.7
3	0.4	39.1	84.6	0.3	1	0.8
4	0	124.2	148.1	0.4	0.8	0.7
5	0.4	170.4	127.8	0.4	0.7	0.7
6	0	40.1	106.4	0.3	0.9	0.7
7	0.5	24.4	64	0.9	0.9	0.8
8		73.4	109		0.9	0.8
9	11.4	69.9	41.7	1	0.9	0.8
10	19.3	69.3	194.8	1	1	0.8
11		104.1	82		0.8	0.7
12	74.2	19.8		1	0.8	



Anexo 2

Temperatura media de zona de estudio



Climas del Austro. Fuente: Zonificación Agroecológica del Austro Ecuatoriano, (p. 37)

Tipo de clima	Característica	Temperatura diaria promedio durante el período de crecimiento
TRÓPICOS. - Todos los meses con temperaturas medias corregidas al nivel del mar > 18°C	cálidos	>20
	moderadamente fresco	15 - 20
	frescos	6.5 - 15
	fríos	< 6.5
SUBTRÓPICOS. - Uno o más meses con temperaturas medias corregidas al nivel del mar < 18°C, pero todos los meses >5°C	cálidos	>20
	moderadamente fresco	15 - 20
	frescos	6.5 - 15
	fríos	< 6.5
TEMPLADO. - Uno o más meses con temperaturas <5°C	templado fresco	6.5 - 20
	templado frío	< 6.5

**Anexo 3**

Evapotranspiración de Referencia obtenida de “ETo calculator”

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Año	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Tmax (°C)	23.60	22.90	23.40	23.80	23.60	23.10	19.60		21.40	22.50		23.70
Tmean (°C)	16.70	16.00	16.70	16.90	16.60	16.80	14.30		15.80	16.00		16.90
Tmin (°C)	13.20	12.50	13.30	13.00	12.60	13.20	9.90		11.40	11.40		12.50
u(2) (m/s)	0.50	0.30	0.30	0.40	0.40	0.30	0.90		1.00	1.00		1.00
Eto (mm/d)	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	2.90	2.80		3.40	3.70		3.70

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Año	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018
Tmax (°C)	22.40	23.80	22.80	22.40	21.90	20.50	20.10	20.60	22.20	24.60	24.50	21.40
Tmean (°C)	16.30	17.20	16.70	15.80	16.10	15.20	14.90	14.90	15.40	17.20	17.60	16.20
Tmin (°C)	11.70	12.70	12.30	12.00	12.70	11.00	10.90	11.00	10.20	11.90	13.20	12.80
u(2) (m/s)	1.00	1.00	1.00	0.80	0.70	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00	0.80	0.80
Eto (mm/d)	3.60	3.90	3.70	3.40	3.00	2.80	2.80	3.10	3.70	4.10	3.80	3.20

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Año	2019	2019	2019	2019	2019	2019	2019	2019	2019	2019	2019	2019
Tmax (°C)	22.90	22.70	23.30	23.60	22.50	20.10	20.20	19.20	22.00	22.20	23.70	
Tmean (°C)	16.70	17.10	17.30	16.90	16.40	15.20	14.80	14.30	15.30	16.20	16.80	
Tmin (°C)	12.80	13.60	13.10	12.90	12.30	12.00	10.90	10.50	10.40	12.00	12.60	
u(2) (m/s)	0.80	0.70	0.80	0.70	0.70	0.70	0.80	0.80	0.80	0.80	0.70	
Eto (mm/d)	3.50	3.50	3.70	3.50	3.10	2.60	2.80	2.90	3.60	3.50	3.70	



Anexo 4

Resultados de análisis de suelos. Fuente: Facultad de Agronomía de la Universidad de Cuenca

Resultados de análisis de suelos												
Código	Cultivo	Tipo de análisis										
		C. E. (mS/cm)	pH	MO (%)	Clase textural	Densidad aparente (g/cc)	Contenido de volumen					
							de agua					
							cm ³ /cm ³					
pF0 Saturación	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.52 Capacidad de Campo	pF 3.4	pF 4.2 Punto de Marchitez							
GR-Mo1-1	Mora	0.49	6.3	5.55	Franco arcilloso	1,357	0.527			0.382		0.244
GR-Ma2-3-2	Manzana	0.34	5.93	5.9	Franco arcilloso	1,173	0.573	0.398	0.376	0.319	0.281	0.205
GR-H1-4-1	Hortalizas	0.68	6.78	6.7	Franco arcilloso	1,336	0.479	0.423	0.417	0.367	0.298	0.209
GR-Ma3-5	Manzana	0.27	5.7	4.25	Franco arcilloso	1,309	0.532	0.419	0.39	0.317	0.297	0.243
GR-Mo4-6	Mora	0.49	6.82	9.35	Franco arcilloso	1,324	0.54			0.344		0.223
GR-Ch+C-7	Chirimoya con café	0.42	6.52	8.5	Franco arcilloso	1,554	0.497	0.482	0.475	0.426	0.359	0.278
GR-T4-8-1	Tomate de árbol	0.33	6.65	6.5	Franco arcilloso	1,465	0.465			0.387		0.243
GR-Ma4-9	Manzana	0.64	5.79	8.05	Franco arcilloso	1,478	0.492	0.472	0.463	0.387	0.36	0.313
GR-U+Ag-10	Uvilla con aguacate	0.2	6.54	7.25	Franco arcilloso	1,237	0.582	0.443	0.415	0.339	0.232	0.219
GR-Ch+C-11	Chirimoya con café	0.48	6.44	9	Franco arcilloso	1,378	0.52	0.487	0.478	0.407	0.328	0.281
GR-Inv1-12	Invernadero	0.42				1,313	0.502			0.402		0.26
GR-T1-2-1	Tomate de árbol	0.3	6.85	7.15	Franco limoso	1,006	0.626	0.532	0.381	0.291	0.219	0.208
GR-T2-2-2	Tomate de árbol	0.16	6.86	6.85	Franco arcilloso	0.73	0.407	0.578	0.399	0.3	0.303	0.217
GR-T2-13-1	Tomate de árbol	0.15	7.35	5.75	Franco arcilloso	1,394	0.547	0.536	0.486	0.396	0.221	0.206
GR-T2-13-2	Tomate de árbol	0.28	7.32	5.7	Franco	1,400	0.545	0.533	0.503	0.422	0.219	0.147
GR-T3-14-1	Tomate de árbol	0.23	7.15	5.9	Franco arcilloso	1,367	0.512	0.485	0.424	0.332	0.199	0.147
GR-T3-14-2	Tomate de árbol	0.34	7.12	5.95	Franco arcilloso	1,385	0.506	0.491	0.465	0.393	0.203	0.158
GR-T4-8-2	Tomate de árbol	0.29	7.55	8.15	Franco arcilloso	1,390	0.539	0.514	0.47	0.393	0.219	0.118
GR-T5-15-1	Tomate de árbol	0.16	6.65	60.5	Franco arcilloso	1,549	0.526	0.504	0.468	0.387	0.293	0.201
GR-T5-15-2	Tomate de árbol	0.18	6.79	5.9	Franco arcilloso	1,508	0.5	0.514	0.453	0.384	0.253	0.177
GR-T5-15-3	Tomate de árbol	0.12	6.9	6.65	Arcilloso	1,589	0.454	0.438	0.417	0.352	0.259	0.175
GR-Ma1-16-1	Manzana	0.7	6.73	9.4	Franco arcilloso	1,345	0.53	0.495	0.403	0.268	0.193	0.163
GR-Ma1-16-2	Manzana	0.56	6.95	9.85	Franco arcilloso	1,260	0.514	0.48	0.375	0.337	0.193	0.161
GR-Ma1-16-3	Manzana	0.85	7.21	7.9	Franco arcilloso	1,342	0.545	0.509	0.416	0.364	0.191	0.162
GR-Ma2-3-1	Manzana	0.64	6.68	14.25	Franco	1,367	0.572	0.531	0.406	0.334	0.187	0.135
GR-Mo2-17-1	Mora	0.35	6.8	4.55	Franco arcilloso	1,554	0.514	0.497	0.475	0.446	0.231	0.126
GR-Mo3-18-1	Mora	0.17	6.81	8.35	Franco arcilloso	1,690	0.456	0.432	0.395	0.343	0.163	0.124
GR-Ca1-19-1	Café	0.13	6.6	8.65	Franco	0,949	0.692	0.644	0.537	0.416	0.299	0.209
GR-Ca1-20-1	Café	0.38	6.75	12.85	Franco	1,181	0.611	0.579	0.433	0.403	0.285	0.207
GR-Ca1-21-1	Café	0.24	6.89	8.55	Franco arcilloso	1,214	0.609	0.586	0.433	0.357	0.213	0.199

**Anexo 5**

Necesidades Hídricas del Sector 1

Cultivos	Evapotranspiración de cultivo = $KC \times Eto$, (mm/d)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	3.15	3.24	3.24	3.15	2.79	2.52	2.52	2.70	3.24	3.42	3.42	3.15
Pasto natural	3.50	3.60	3.60	3.50	3.10	2.80	2.80	3.00	3.60	3.80	3.80	3.50
Cultivos bajo Invernadero	3.33	3.42	3.42	3.33	2.95	2.66	2.66	2.85	3.42	3.61	3.61	3.33

Cultivos	Requerimiento neto de agua para cultivo, (m ³ /d/ha)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	31.50	32.40	32.40	31.50	27.90	25.20	25.20	27.00	32.40	34.20	34.20	31.50
Pasto natural	35.00	36.00	36.00	35.00	31.00	28.00	28.00	30.00	36.00	38.00	38.00	35.00
Cultivos bajo Invernadero	33.25	34.20	34.20	33.25	29.45	26.60	26.60	28.50	34.20	36.10	36.10	33.25

Cultivos	Requerimiento bruto de agua para cultivo, (m ³ /d)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	23.21	23.87	23.87	23.21	20.55	18.56	18.56	19.89	23.87	25.19	25.19	23.21
Pasto natural	20.24	20.82	20.82	20.24	17.93	16.19	16.19	17.35	20.82	21.98	21.98	20.24
Cultivos bajo Invernadero	4.52	4.65	4.65	4.52	4.01	3.62	3.62	3.88	4.65	4.91	4.91	4.52
Total	47.97	49.34	49.34	47.97	42.49	38.38	38.38	41.12	49.34	52.08	52.08	47.97

Necesidades Hídricas del Sector 2

Cultivos	Evapotranspiración de cultivo = $KC \times Eto$, (mm/d)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	3.15	3.24	3.24	3.15	2.79	2.52	2.52	2.70	3.24	3.42	3.42	3.15
Caña de azúcar	4.38	4.50	4.50	4.38	3.88	3.50	3.50	3.75	4.50	4.75	4.75	4.38
Leguminosas	1.75	2.16	3.60	3.68	2.64	0.00	1.40	1.50	2.16	3.80	3.99	3.50

Cultivos	Requerimiento neto de agua para cultivo, (m ³ /d/ha)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	31.50	32.40	32.40	31.50	27.90	25.20	25.20	27.00	32.40	34.20	34.20	31.50
Caña de azúcar	43.75	45.00	45.00	43.75	38.75	35.00	35.00	37.50	45.00	47.50	47.50	43.75
Leguminosas	17.50	21.60	36.00	36.75	26.35	0.00	14.00	15.00	21.60	38.00	39.90	35.00

Cultivos	Requerimiento bruto de agua para cultivo, (m ³ /d)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic



Frutales	76.23	78.41	78.41	76.23	67.52	60.98	60.98	65.34	78.41	82.76	82.76	76.23
Caña de azúcar	3.54	3.65	3.65	3.54	3.14	2.84	2.84	3.04	3.65	3.85	3.85	3.54
Leguminosas	0.77	0.95	1.58	1.61	1.15	0.00	0.61	0.66	0.95	1.66	1.75	1.53
Total	80.54	83.00	83.63	81.38	71.81	63.82	64.43	69.03	83.00	88.27	88.35	81.30

Necesidades Hídricas del Sector 3

	Evapotranspiración de cultivo = $KC \times Eto$, (mm/d)											
Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	3.15	3.24	3.24	3.15	2.79	2.52	2.52	2.70	3.24	3.42	3.42	3.15
Herbáceas	2.80	2.88	2.88	2.80	2.48	2.24	2.24	2.40	2.88	3.04	3.04	2.80

	Requerimiento neto de agua para cultivo, (m ³ /d/ha)											
Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	31.50	32.40	32.40	31.50	27.90	25.20	25.20	27.00	32.40	34.20	34.20	31.50
Herbáceas	28.00	28.80	28.80	28.00	24.80	22.40	22.40	24.00	28.80	30.40	30.40	28.00

	Requerimiento bruto de agua para cultivo, (m ³ /d)											
Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	63.20	65.00	65.00	63.20	55.97	50.56	50.56	54.17	65.00	68.61	68.61	63.20
Herbáceas	7.46	7.68	7.68	7.46	6.61	5.97	5.97	6.40	7.68	8.10	8.10	7.46
Total	70.66	72.68	72.68	70.66	62.58	56.53	56.53	60.57	72.68	76.72	76.72	70.66

Necesidades Hídricas del Sector 4

	Evapotranspiración de cultivo = $KC \times Eto$, (mm/d)											
Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	3.15	3.24	3.24	3.15	2.79	2.52	2.52	2.70	3.24	3.42	3.42	3.15
Cultivos de ciclo corto	2.77	2.84	2.84	2.77	2.45	2.21	2.21	2.37	2.84	3.00	3.00	2.77
Plantas medicinales	3.33	3.42	3.42	3.33	2.95	2.66	2.66	2.85	3.42	3.61	3.61	3.33
Hortalizas	3.50	3.60	3.60	3.50	3.10	2.80	2.80	3.00	3.60	3.80	3.80	3.50

	Requerimiento neto de agua para cultivo, (m ³ /d/ha)											
Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	31.50	32.40	32.40	31.50	27.90	25.20	25.20	27.00	32.40	34.20	34.20	31.50
Cultivos de ciclo corto	27.65	28.44	28.44	27.65	24.49	22.12	22.12	23.70	28.44	30.02	30.02	27.65



Plantas medicinales	33.25	34.20	34.20	33.25	29.45	26.60	26.60	28.50	34.20	36.10	36.10	33.25
Hortalizas	35.00	36.00	36.00	35.00	31.00	28.00	28.00	30.00	36.00	38.00	38.00	35.00

Cultivos	Requerimiento bruto de agua para cultivo, (m ³ /d)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	58.95	60.63	60.63	58.95	52.21	47.16	47.16	50.53	60.63	64.00	64.00	58.95
Cultivos de ciclo corto	1.23	1.26	1.26	1.23	1.09	0.98	0.98	1.05	1.26	1.33	1.33	1.23
Plantas medicinales	0.29	0.30	0.30	0.29	0.26	0.23	0.23	0.25	0.30	0.32	0.32	0.29
Hortalizas	5.43	5.59	5.59	5.43	4.81	4.35	4.35	4.66	5.59	5.90	5.90	5.43
Total	65.90	67.79	67.79	65.90	58.37	52.72	52.72	56.49	67.79	71.55	71.55	65.90

Necesidades Hídricas del Sector 5

Cultivos	Evapotranspiración de cultivo = KC x Eto, (mm/d)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	3.15	3.24	3.24	3.15	2.79	2.52	2.52	2.70	3.24	3.42	3.42	3.15
Papas	3.68	3.38	1.80	1.93	2.98	2.94	2.94	2.82	1.80	2.09	3.65	3.68

Cultivos	Requerimiento neto de agua para cultivo, (m ³ /d/ha)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	31.50	32.40	32.40	31.50	27.90	25.20	25.20	27.00	32.40	34.20	34.20	31.50
Papas	36.75	33.84	18.00	19.25	29.76	29.40	29.40	28.20	18.00	20.90	36.48	36.75

Cultivos	Requerimiento bruto de agua para cultivo, (m ³ /d)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Frutales	58.33	60.00	60.00	58.33	51.67	46.67	46.67	50.00	60.00	63.33	63.33	58.33
Papas	5.99	5.52	2.94	3.14	4.85	4.79	4.79	4.60	2.94	3.41	5.95	5.99
Total	64.33	65.52	62.94	61.47	56.52	51.46	51.46	54.60	62.94	66.74	69.28	64.33

**Anexo 6**

Dosis neta para una frecuencia de 7 días

Sector 1

Dosis neta para 7 días, (mm)														
Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Dosis máx	Dosis mín
Frutales	22.05	22.68	22.68	22.05	19.53	17.64	17.64	18.9	22.68	23.94	23.94	22.05	23.94	17.64
Pasto natural	24.5	25.2	25.2	24.5	21.7	19.6	19.6	21	25.2	26.6	26.6	24.5	26.6	19.6
Cultivos bajo Invernadero	23.28	23.94	23.94	23.28	20.62	18.62	18.62	19.95	23.94	25.27	25.27	23.28	25.27	18.62

Sector 2

Dosis neta para 7 días, (mm)														
Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Dosis máx	Dosis mín
Frutales	22.05	22.68	22.68	22.05	19.53	17.64	17.64	18.9	22.68	23.94	23.94	22.05	23.94	17.64
Caña de azúcar	30.63	31.5	31.5	30.63	27.13	24.5	24.5	26.25	31.5	33.25	33.25	30.63	33.25	24.5
Leguminosas	12.25	15.12	25.2	25.73	18.45	0	9.8	10.5	15.12	26.6	27.93	24.5	27.93	0

Sector 3

Dosis neta para 7 días, (mm)														
Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Dosis máx	Dosis mín
Frutales	22.05	22.68	22.68	22.05	19.53	17.64	17.64	18.9	22.68	23.94	23.94	22.05	23.94	17.64
Herbáceas	19.6	20.16	20.16	19.6	17.36	15.68	15.68	16.8	20.16	21.28	21.28	19.6	21.28	15.68

Sector 4

Dosis neta para 7 días, (mm)														
Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Dosis máx	Dosis mín
Frutales	22.05	22.68	22.68	22.05	19.53	17.64	17.64	18.9	22.68	23.94	23.94	22.05	23.94	17.64
Cultivos de ciclo corto	19.36	19.91	19.91	19.36	17.14	15.48	15.48	16.59	19.91	21.01	21.01	19.36	21.01	15.48
Plantas medicinales	23.28	23.94	23.94	23.28	20.62	18.62	18.62	19.95	23.94	25.27	25.27	23.28	25.27	18.62
Hortalizas	24.5	25.2	25.2	24.5	21.7	19.6	19.6	21	25.2	26.6	26.6	24.5	26.6	19.6

Sector 5

Dosis neta para 7 días, (mm)														
Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Dosis máx	Dosis mín
Frutales	22.05	22.68	22.68	22.05	19.53	17.64	17.64	18.9	22.68	23.94	23.94	22.05	23.94	17.64
Papas	25.73	23.69	12.6	13.48	20.83	20.58	20.58	19.74	12.6	14.63	25.54	25.73	25.73	12.6

**Anexo 7**

Distribución de caudales para cada cultivo

Sector	Cultivos	Área (ha)	Caudal (l/s)
1	Aguacate - reina claudia	0.05	0.27
	Naranjilla 1	0.04	0.26
	Naranjilla 2	0.02	0.11
	Naranjilla 3	0.01	0.06
	Naranjilla 4	0.06	0.43
	Uvilla	0.18	1.2
	Terrazas de higo	0.1	0.68
	Durazno	0.07	0.46
	Cítricos	0.09	0.58
	Pasto natural 1	0.32	2.18
	Pasto natural 2	0.09	0.59
	Cultivos bajo invernadero 1	0.08	0.51
	Cultivos bajo invernadero 2	0.05	0.32
2	Caña de azúcar	0.05	0.31
	Fréjol	0.03	0.17
	Manzana Lote A - B	1	6.39
	Manzana Lote C	0.2	1.4
	Naranjilla 1	0.4	2.65
	Naranjilla 2	0.2	1.42
	Café - Higo	0.05	0.29
	Tomate de árbol	0.1	0.87
	Mora	0.1	0.49
3	Café 1	0.1	0.6
	Café 2	0.17	1.04
	Tomate de Árbol	0.17	1.04
	1 chirimoya - 2 Tomate de A 1	0.5	2.85
	1 chirimoya - 2 Tomate de A 2	0.2	1.16
	Chirimoya	0.65	4.03
	Naranjilla 1	0.02	0.14
	Naranjilla 2	0.04	0.25
	Alfalfa 1	0.1	0.59
	Alfalfa 2	0.12	0.73
4	Café	0.02	0.11
	Chirimoya	0.18	1.14
	Tomate de árbol 1	0.4	2.68
	Tomate de árbol 2	0.8	4.91
	Pimiento	0.05	0.31
	Uvilla	0.01	0.08
	Papaya	0.002	0.01
	Tomate de árbol 3	0.05	0.28
	Tomate de árbol 4	0.14	0.89
	Cultivos de ciclo corto	0.04	0.25
	Plantas medicinales	0.01	0.05
	Hortalizas	0.14	0.87
5	Café 1	0.2	1.53
	Café 2	0.5	3.17



	Tomate de árbol	0.5	3.04
	Manzana Ana Lote D	0.3	2.18
	Limón	0.1	0.53
	Papas	0.1	0.62

Anexo 8

Variación de volúmenes (Oferta – Demanda) de los reservorios para la alternativa 1

Reservorio Semana	Opción 1				Opción 2			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Semana 1	394	1080	703	990	394	1080	703	4930
Semana 2	392	1060	696	990	392	1060	696	4759
Semana 3	391	1040	689	990	391	1040	689	4589
Semana 4	390	1020	682	990	390	1020	682	4419
Semana 5	389	1000	674	990	389	1000	674	4248
Semana 6	387	980	667	990	387	980	667	4078
Semana 7	386	960	660	990	386	960	660	3908
Semana 8	385	940	653	990	385	940	653	3737
Semana 9	384	920	646	990	384	920	646	3567
Semana 10	382	900	639	990	382	900	639	3397
Semana 11	381	880	632	990	381	880	632	3226
Semana 12	380	860	625	990	380	860	625	3056
Semana 13	379	840	618	990	379	840	618	2885
Semana 14	377	820	610	990	377	820	610	2715
Semana 15	376	800	603	990	376	800	603	2545
Semana 16	375	780	596	990	375	780	596	2374
Semana 17	373	760	589	990	373	760	589	2204
Semana 18	372	740	582	990	372	740	582	2034
Semana 19	371	720	575	990	371	720	575	1863
Semana 20	370	700	568	990	370	700	568	1693
Semana 21	368	680	561	990	368	680	561	1523
Semana 22	367	660	553	990	367	660	553	1352
Semana 23	366	640	546	990	366	640	546	1182
Semana 24	365	620	539	990	365	620	539	1012

Variación de volúmenes (Oferta – Demanda) de los reservorios para la alternativa 2

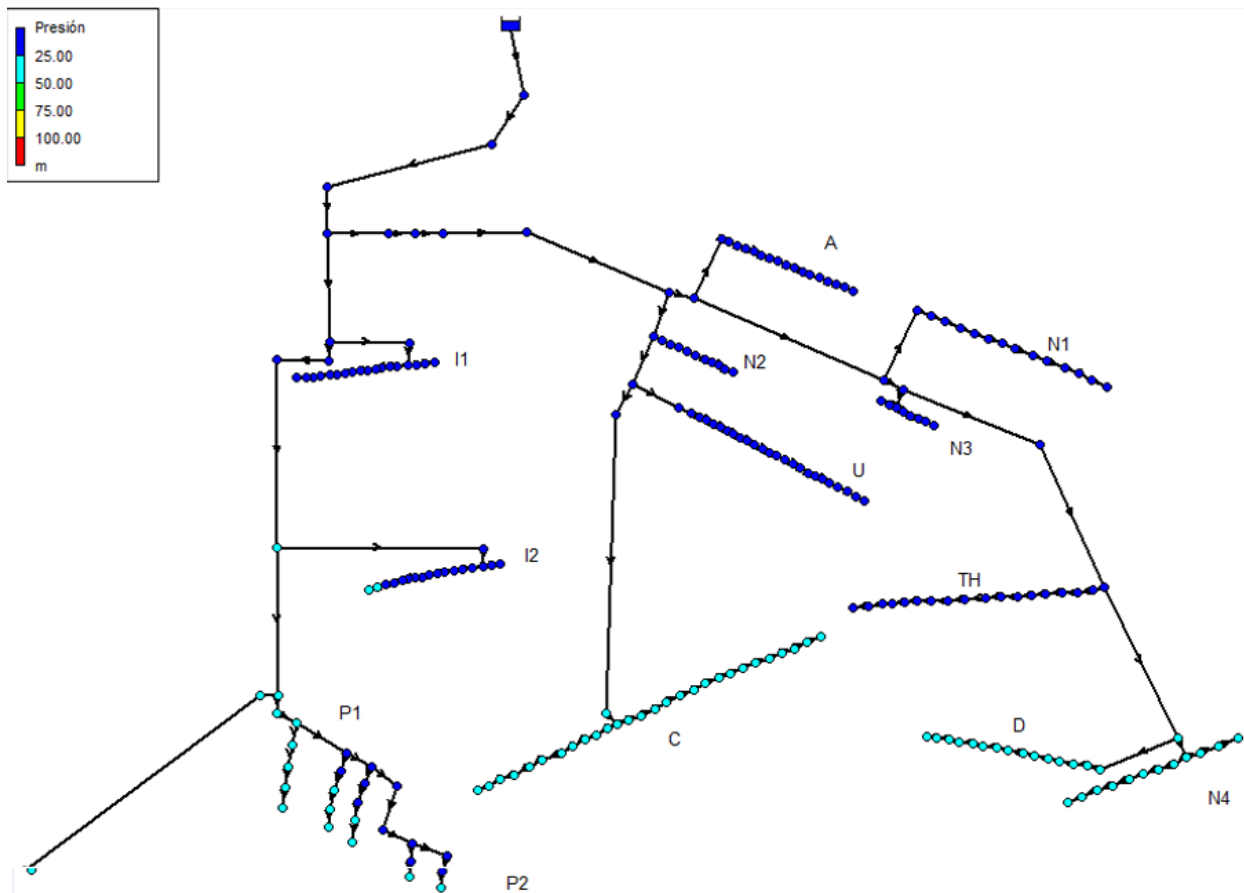
Reservorio Semana	Opción 1			Opción 2		
	1	2	4	1	2	4
Semana 1	409	1122	5120	394	1080	4953
Semana 2	408	1102	5120	392	1060	4805
Semana 3	407	1082	5120	391	1040	4658
Semana 4	407	1062	5120	390	1020	4511
Semana 5	406	1042	5120	389	1000	4363
Semana 6	406	1022	5120	387	980	4216
Semana 7	405	1002	5120	386	960	4068
Semana 8	405	982	5120	385	940	3921
Semana 9	404	962	5120	384	920	3774
Semana 10	403	942	5120	382	900	3626

Semana 11	403	922	5120	381	880	3479
Semana 12	402	902	5120	380	860	3332
Semana 13	402	882	5120	379	840	3184
Semana 14	401	862	5120	377	820	3037
Semana 15	401	842	5120	376	800	2890
Semana 16	400	822	5120	375	780	2742
Semana 17	399	802	5120	373	760	2595
Semana 18	399	782	5120	372	740	2447
Semana 19	398	762	5120	371	720	2300
Semana 20	398	742	5120	370	700	2153
Semana 21	397	722	5120	368	680	2005
Semana 22	397	702	5120	367	660	1858
Semana 23	396	682	5120	366	640	1711
Semana 24	395	662	5120	365	620	1563

Anexo 9

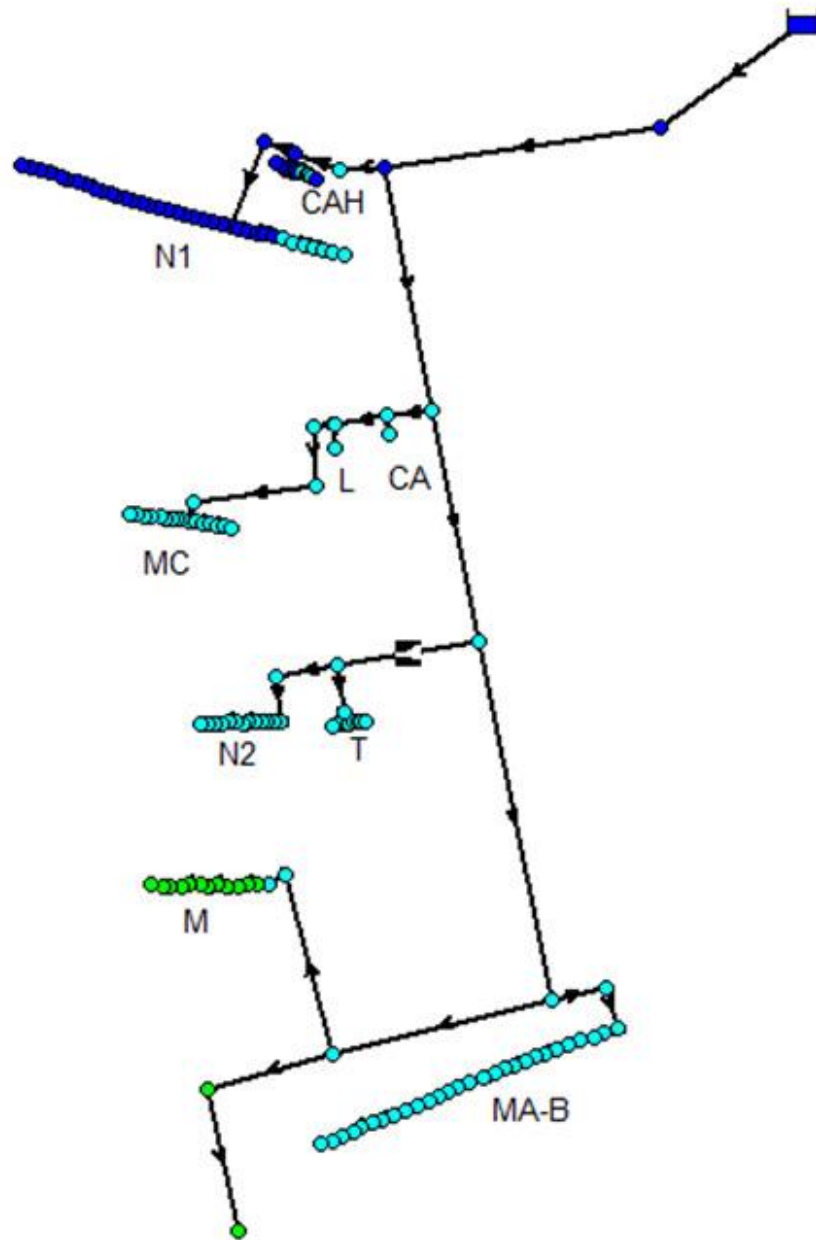
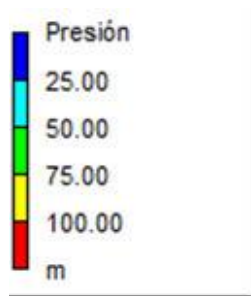
Rango de presiones obtenidos de la simulación en Epanet

Sector 1



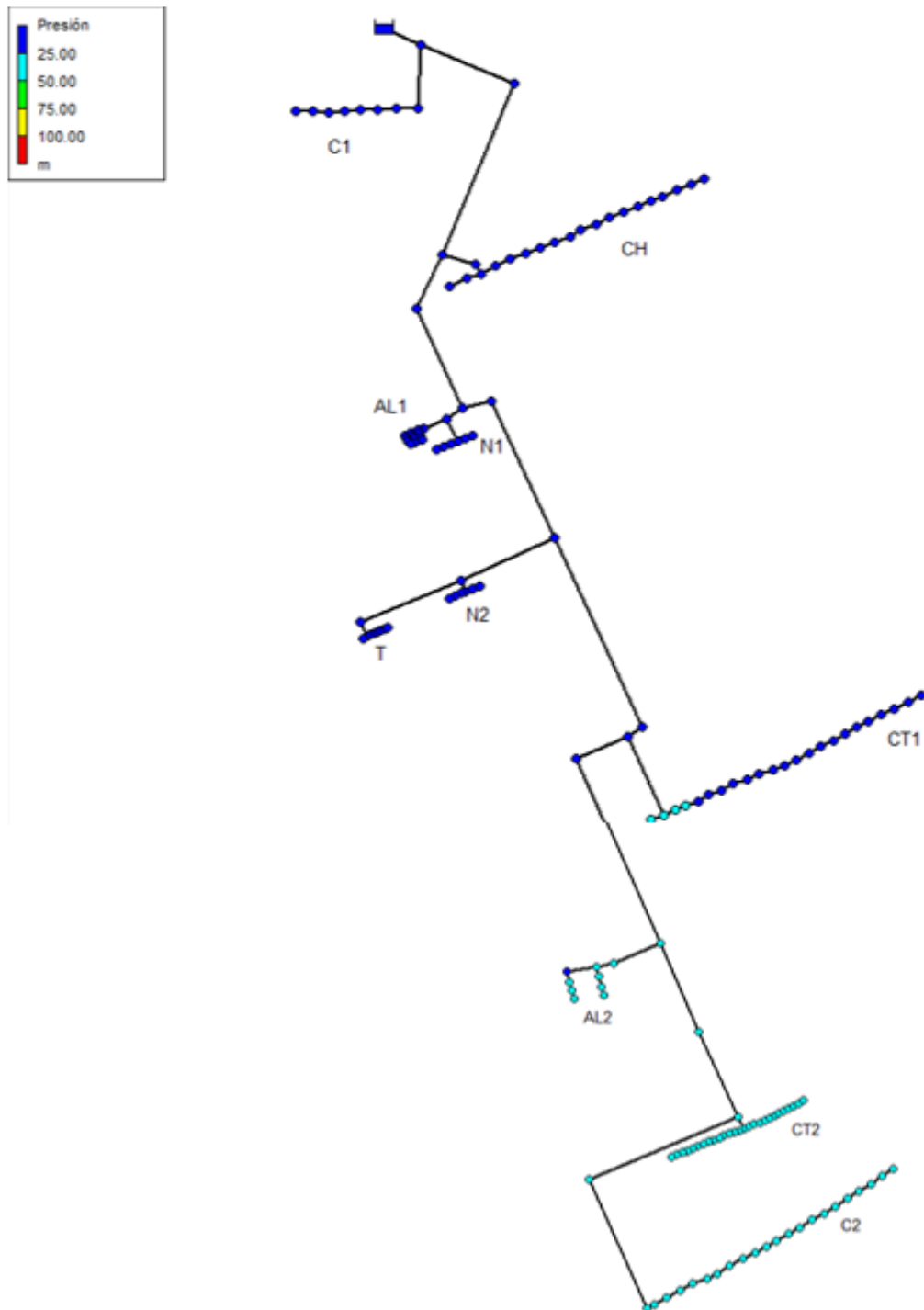


Sector 2



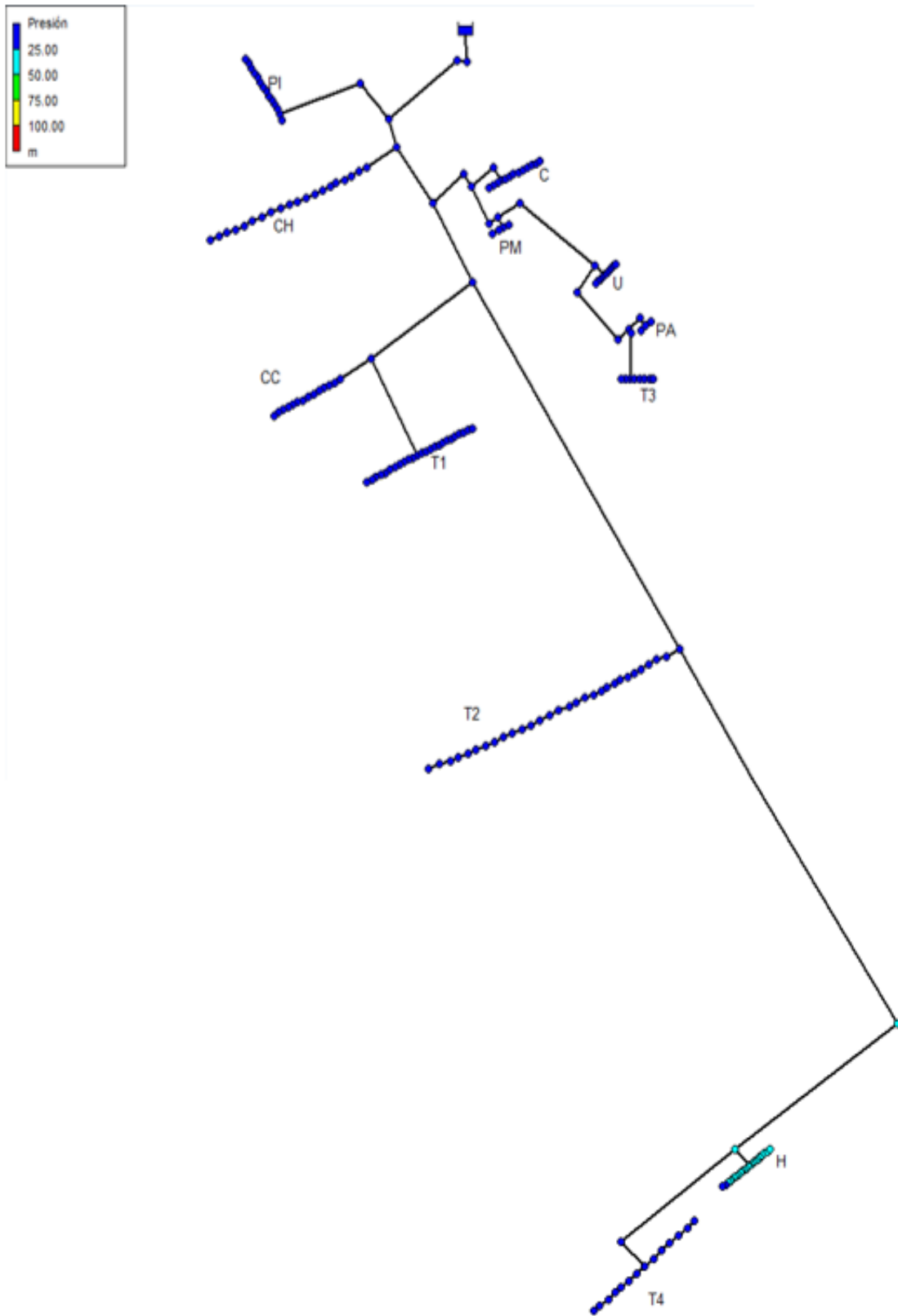


Sector 3



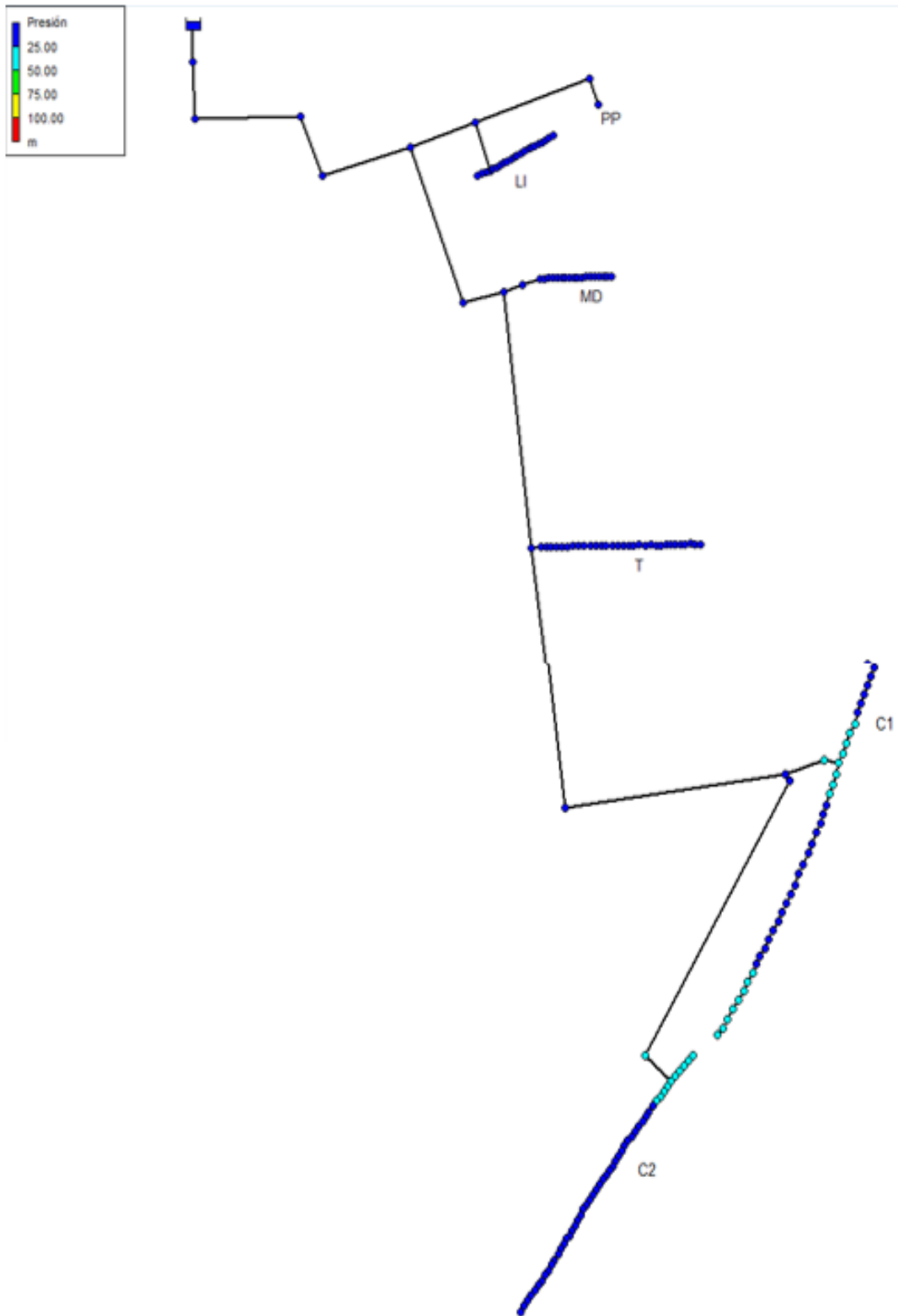


Sector 4





Sector 5



Anexo 10

Fichas técnicas de cultivos para los 5 sectores

FICHA TÉCNICA DE DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO							
SECTOR: 1		TIPO DE RIEGO: Goteo					
RESERVORIO: 1							
Código	Cultivo	Tipo de cinta	Caudal de la cinta (l/s)	Presión (m.c.a.)	Diámetro nominal (mm)	Tiempo de riego (h)	Observaciones
A	Aguacate - reina claudia	Cinta de riego (4 a 8 m.c.a)	0.02	2	40	12	Se necesita incorporar un tanque rompedoresiones
N1	Naranjilla 1		0.02	1	40	12	
N2	Naranjilla 2		0.01	11	40	12	
N3	Naranjilla 3		0.01	10	40	12	
N4	Naranjilla 4		0.04	29	40	12	
U	Uvilla		0.05	13	40	12	
TH	Terraza de higo		0.04	18	40	12	
D	Durazno		0.03	31	40	12	
C	Cítricos		0.02	26	40	12	
I1	Cultivos bajo invernadero 1		0.03	19	40	12	
I2	Cultivos bajo invernadero 2		0.02	24	40	12	
SECTOR: 1			TIPO DE RIEGO: Aspersión				
RESERVORIO: 1							
Código	Cultivo	Tipo de aspersor	Caudal del aspersor (l/s)	Presión (m.c.a.)	Diámetro nominal (mm)	Tiempo de riego/ílera (h)	Observaciones
P1	Pasto natural 1	Aspersor (21 – 42 m.c.a)	0.21	39	32	12	Funcionan las 3 laterales simultáneamente
P2	Pasto natural 2	Aspersor (21 – 42 m.c.a)	0.21	41	32	12	Funcionan las 2 laterales simultáneamente

Tabla 33: Ficha técnica de cultivos para el sector 1

Nota: Debido a la aplicación de los métodos de riego en áreas regables geométricas regulares, el caudal de diseño para algunos cultivos se redujo en la simulación, lo cual permitió que para los cultivos P1 y P2, todas las laterales funcionen al mismo tiempo, sin superar el caudal de diseño original del sector.

FICHA TÉCNICA DE DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO							
SECTOR: 2		TIPO DE RIEGO: Goteo					
RESERVORIO: 2							
Código	Cultivo	Tipo de cinta	Caudal de la cinta (l/s)	Presión (m.c.a.)	Diámetro nominal (mm)	Tiempo de riego (h)	Observaciones
MA-B	Manzana lote A - lote B	Cinta de riego (4 a 8 m.c.a)	0.24	31	50	12	Se necesita incorporar un tanque rompedoresiones
MC	Manzana lote C		0.09	37	40	12	
N1	Naranjilla 1		0.08	20	40	12	
N2	Naranjilla 2		0.12	49	40	12	
CAH	Café - higo		0.03	24	40	12	
T	Tomate de árbol		0.11	49	40	12	
M	Mora		0.04	50	40	12	
SECTOR: 2		TIPO DE RIEGO: Surcos					
RESERVORIO: 2							
Código	Cultivo	Tipo de tubería	Caudal (l/s)	Presión (m.c.a.)	Diámetro nominal (mm)	Tiempo de riego (h)	Observaciones
CA	Caña de azúcar	Tubería de compuerta	0.3	33	63	12	
L	Leguminosas		0.16	34	63	12	

Tabla 34: Ficha técnica de cultivos para el sector 2

FICHA TÉCNICA DE DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO							
SECTOR: 3		TIPO DE RIEGO: Goteo					
RESERVORIO: 3							
Código	Cultivo	Tipo de cinta	Caudal de la cinta (l/s)	Presión (m.c.a.)	Diámetro nominal (mm)	Tiempo de riego (h)	Observaciones
C1	Café 1	Cinta de riego (4 a 8 m.c.a)	0.09	2	40	12	Se necesita incorporar un tanque rompedoresiones
C2	Café 2		0.05	35	40	12	
T	Tomate de árbol		0.14	17	40	12	
CT1	1 chirimoya - 2 tomate de árbol 1		0.13	22	40	12	
CT2	1 chirimoya - 2 tomate de árbol 2		0.05	34	40	12	Se necesita incorporar un tanque rompedoresiones
CH	Chirimoya		0.22	3	50	12	
N1	Naranjilla 1		0.03	11	40	12	
N2	Naranjilla 2		0.06	19	40	12	
SECTOR: 3		TIPO DE RIEGO: Aspersión					
RESERVORIO: 3							
Código	Cultivo	Tipo de aspersor	Caudal del aspersor (l/s)	Presión (m.c.a.)	Diámetro nominal (mm)	Tiempo de riego/ílera (h)	Observaciones
AL1	Alfalfa 1	Aspersor (7 – 25 m.c.ca)	0.2	12	40	3	Funciona 1 línea de aspersión
AL2	Alfalfa 2	Aspersor (21 – 42 m.c.a)	0.2	30	40	6	Funciona 1 línea de aspersión

Tabla 35: Ficha técnica de cultivos para el sector 3

FICHA TÉCNICA DE DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO							
SECTOR: 4		TIPO DE RIEGO: Goteo					
RESERVORIO: 4							
Código	Cultivo	Tipo de cinta	Caudal de la cinta (l/s)	Presión (m.c.a.)	Diámetro nominal (mm)	Tiempo de riego (h)	Observaciones
C	Café	Cinta de riego (4 a 8 m.c.a)	0.01	4	40	12	
CH	Chirimoya		0.06	3	40	12	
T1	Tomate de árbol 1		0.11	3	50	12	
T2	Tomate de árbol 2		0.18	5	50	12	
PI	Pimiento		0.02	3	40	12	
U	Uvilla		0.01	5	40	12	
PA	Papaya		0.01	6	40	12	
T3	Tomate de árbol 3		0.04	7	40	12	
T4	Tomate de árbol 4		0.07	24	40	12	Se necesita incorporar un tanque rompepresiones
CC	Cultivos de ciclo corto		0.02	5	40	12	
PM	Plantas medicinales		0.02	4	40	12	
H	Hortalizas		0.04	26	40	12	Se necesita incorporar un tanque rompepresiones

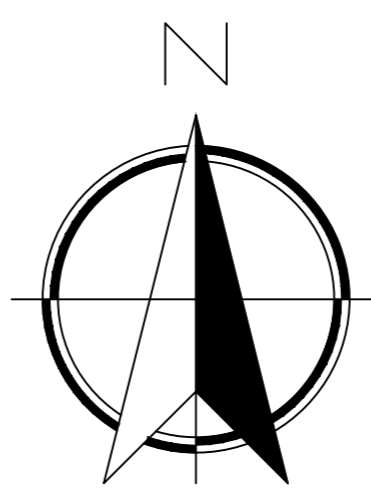
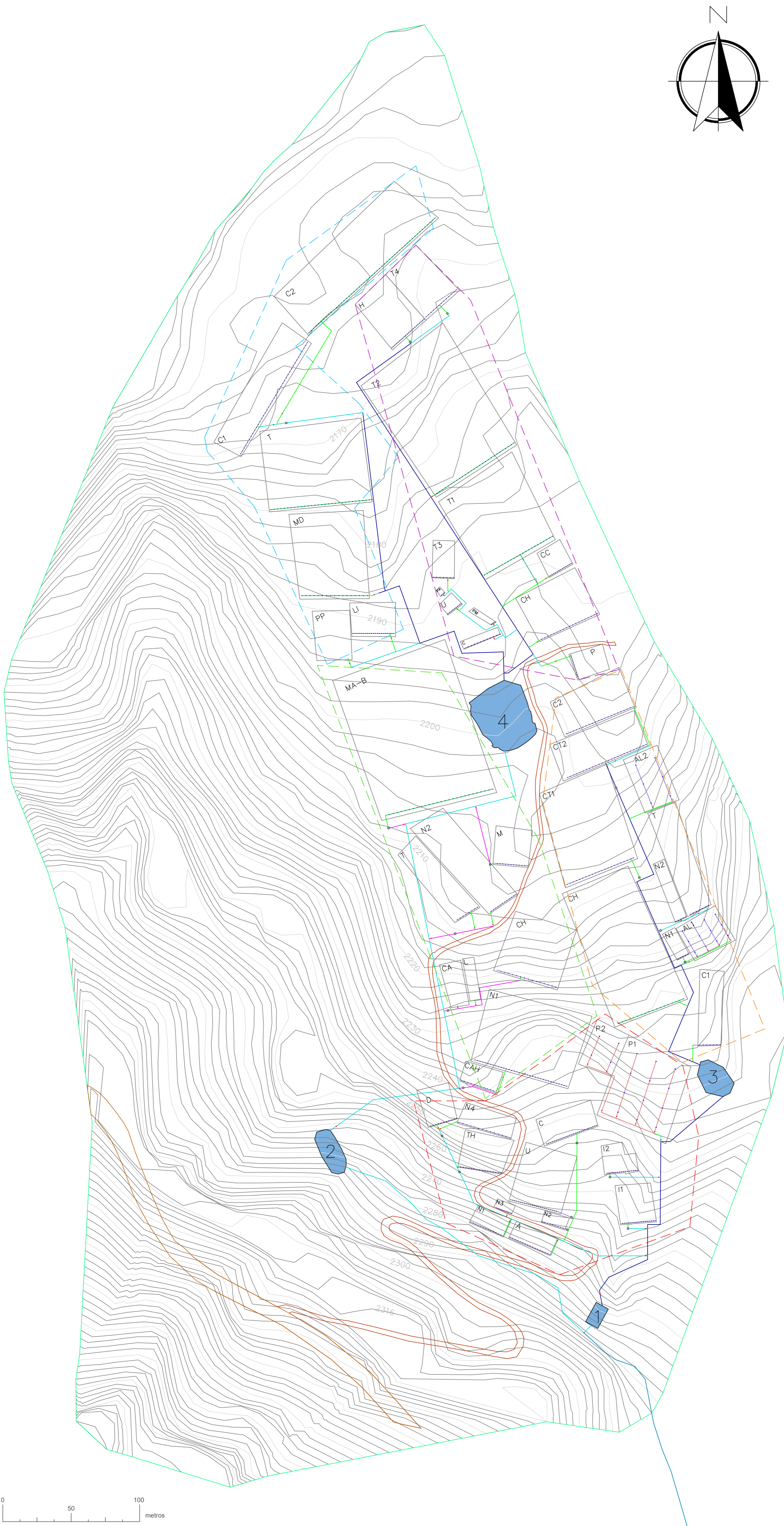
Tabla 36: Ficha técnica de cultivos para el sector 4

FICHA TÉCNICA DE DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO							
SECTOR: 5		TIPO DE RIEGO: Goteo					
RESERVORIO: 4							
Código	Cultivo	Tipo de cinta	Caudal de la cinta (l/s)	Presión (m.c.a.)	Diámetro nominal (mm)	Tiempo de riego (h)	Observaciones
C1	Café 1	Cinta de riego (4 a 8 m.c.a)	0.04	24	40	12	
C2	Café 2		0.06	21	50	12	
T	Tomate de árbol		0.1	12	50	12	
MD	Manzana Ana lote D		0.13	6	50	12	
LI	Limón		0.03	4	40	12	
SECTOR: 5		TIPO DE RIEGO: Surcos					
RESERVORIO: 4							
Código	Cultivo	Tipo de tubería	Caudal (l/s)	Presión (m.c.a.)	Diámetro nominal (mm)	Tiempo de riego (h)	Observaciones
PP	Papa	Tubería de compuerta	0.62	42	60	12	

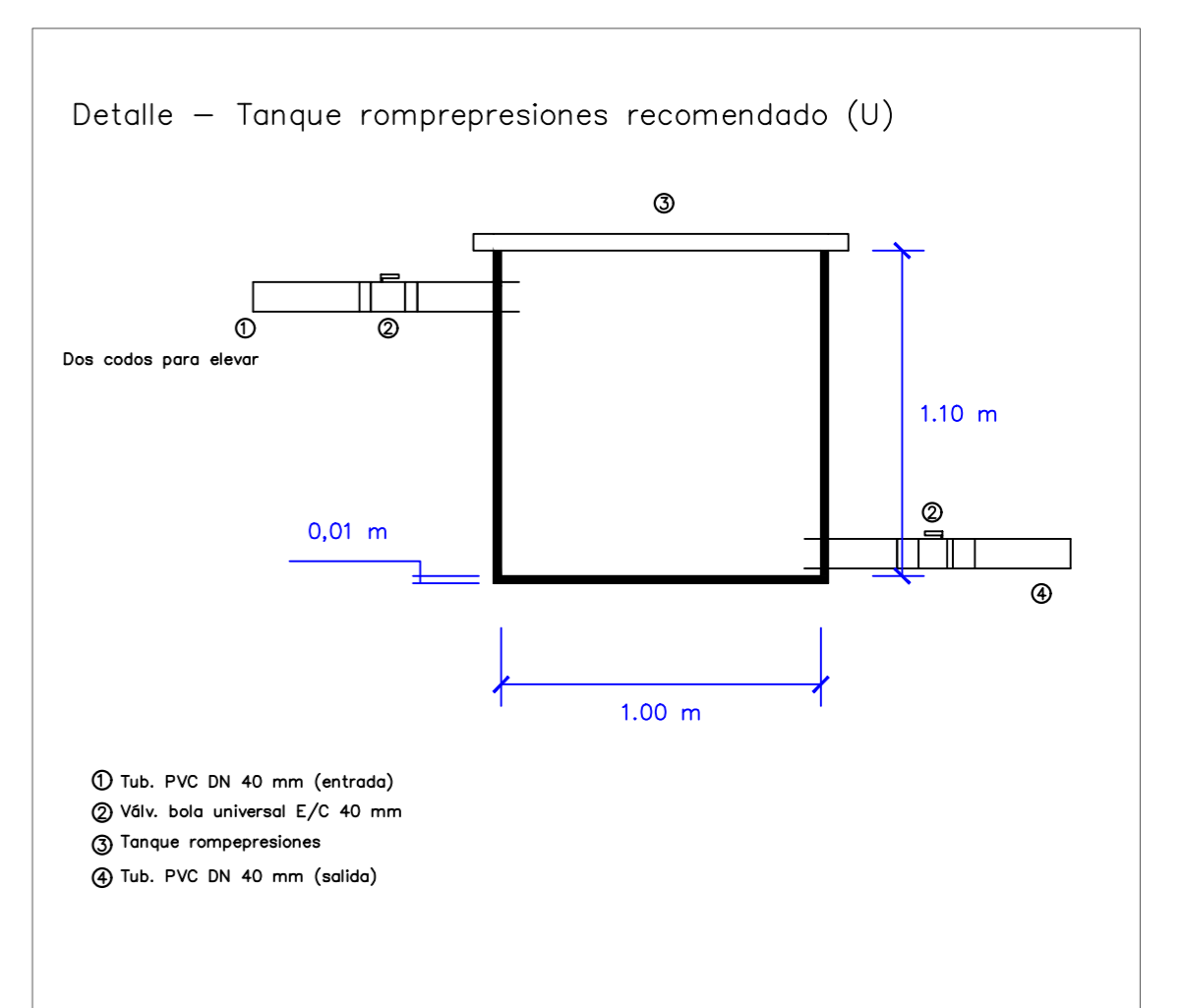
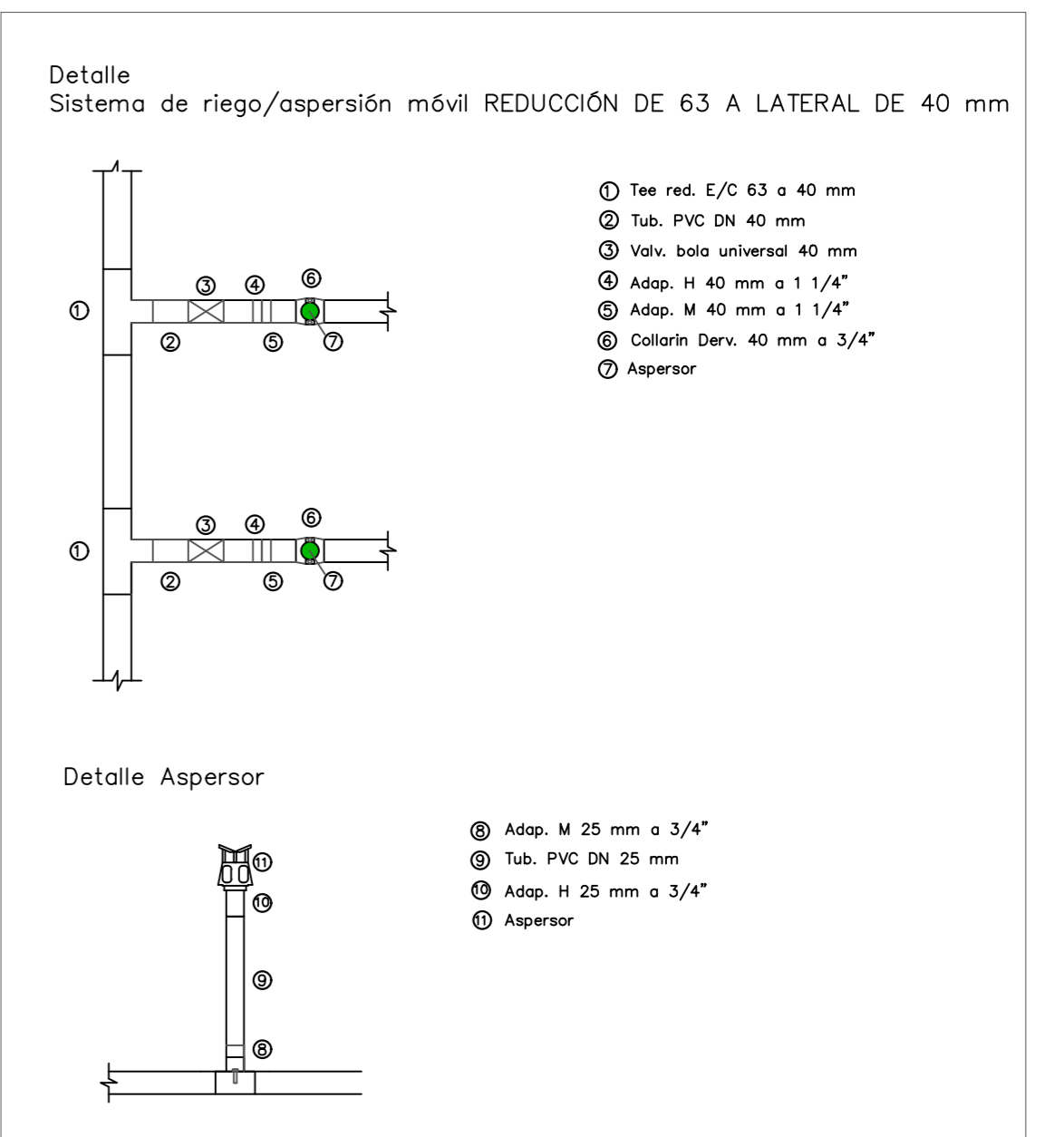
Tabla 37: Ficha técnica de cultivos para el sector 5

Anexo 11

Plano de los componentes del sistema de riego tecnificado para la granja El Romeral.



Leyenda	
	Reservorios habilitados para el proyecto
	Acequia Romeral
	Tub. PVC DN 110 mm
	Tub. PVC DN 90 mm
	Tub. PVC DN 75 mm
	Tub. PVC DN 63 mm
	Tub. PVC DN 50 mm
	Tub. PVC DN 40 mm
	Tub. PVC DN 32 mm
	Válvula de bola
	Tanque rompedores
	Ubicación de aspersor
	Ubicación de cinta de goteo
	Sector 1
	Sector 2
	Sector 3
	Sector 4
	Sector 5
	Camino



UNIVERSIDAD DE CUENCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
PROYECTO: Diseño de un sistema integral de riego tecnificado para la granja "El Romeral"		
Realizado por: Lema Legarda Alejandra Valla Poma Johanna	FECHA: Agosto/2021	ESCALA: 1:1500