



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Diseño del sistema de irrigación tecnificado para el Eco-campus Balzay de la Universidad de Cuenca

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

Autor:

Alex Adrian Arce Prieto

CI:0301939203

Correo electrónico: alex_ar_95@hotmail.com

Director:

Ing. M.Sc Esteban Alonso Pacheco Tobar

CI:0102114550

Cuenca, Ecuador

05-noviembre-2021



Resumen:

La implementación y desarrollo de sistemas y soluciones técnicas de infraestructura verde que contemplen de manera integral aspectos de vegetación, manejo de suelos y tecnificación de la dotación de agua, es imprescindible para reducir los efectos negativos de la urbanización. En este sentido, el presente trabajo de titulación se enfocó en el diseño de un sistema de irrigación tecnificado para el área verde del Eco-campus Balzay de la Universidad de Cuenca, contemplando componentes de manejo y operación que den respuesta a la planificación de un campus ecológico y de vanguardia. Para el desarrollo del proyecto se caracterizó la zona de intervención mediante la identificación de requerimientos de infraestructura, condicionantes físicas, necesidades de agua para el desarrollo y mantenimiento de áreas verdes, y las alternativas tecnológicas para dotación de agua. Una vez seleccionados los métodos de riego y las tecnologías de aplicación, se ha planteado el esquema hidrotécnico y organizativo para riego, y se ha dimensionado el sistema de distribución mediante la aplicación para modelación hidráulica de flujo EPANET. Con este trabajo se propone un diseño integral para el sistema de riego del Eco-campus Balzay que contempla los aspectos técnicos de distribución-impulsión, así como, los aspectos de manejo en términos de un modelo técnico de organización por sectores y frecuencias de riego.

Palabras claves: Riego tecnificado. Métodos de riego. Eco-campus Balzay. Instalaciones hidráulicas para riego.



Abstract:

The development of systems and technical solutions for green infrastructure that integrate: vegetation, soil management, and modernization of the water supply, is essential to reduce the negative effects of urbanization. In this sense, the present work focused on the design of a irrigation system for the green area of the Eco-campus Balzay (Universidad de Cuenca), contemplating management and operation components that respond to the planning of a modern ecological campus. For the development of the project, the area was characterized by identifying infrastructure requirements, physical conditions, water requirements for the development and maintenance of green areas, and alternatives for water provision. After having selected the irrigation methods and application technologies, the hydraulic and technical organization scheme for irrigation has been proposed, and the distribution system has been dimensioned by applying the model for flow hydraulics, EPANET. With this work, a comprehensive design for the irrigation system of the Eco-campus Balzay is proposed. The study considers the technical aspects of distribution-impulsion, as well as the management aspects, based on a technical organization scheme, by sectors and irrigation frequencies.

Keywords: Technical irrigation. Irrigation methods. Eco-campus Balzay. Hydraulic installations for irrigation.



Contenido

<i>Contenido</i>	4
AGRADECIMIENTO	13
DEDICATORIA	14
ANTECEDENTES	15
JUSTIFICACIÓN	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1. INTRODUCCIÓN	17
1.1 EL RIEGO TECNIFICADO EN EL DESARROLLO DE ESPACIOS URBANOS	17
1.2 CONSIDERACIONES TEÓRICAS RELEVANTES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO.....	17
<i>Métodos de aplicación de riego tecnificado</i>	17
<i>Determinación de necesidades de riego de las áreas verdes</i>	18
<i>Importancia del suelo como medio regulador de humedad en sistemas para mantenimiento de áreas verdes</i>	19
<i>Determinación de frecuencias, dosis y caudales</i>	21
2. MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1 ZONA DE ESTUDIO: IDENTIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE Y REQUERIDA	22
2.2 PLANIFICACIÓN DE ÁREAS VERDES	25
2.3 CARACTERIZACIÓN DE ASPECTOS BIOFÍSICOS DEL PROYECTO.....	26



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 32

3.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL PROYECTO 32

Definición de métodos y caudales de riego..... 32

Sectorización y organización para riego..... 34

3.2 ESQUEMA HIDROTÉCNICO Y DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA 39

3.3 DISEÑO DE OTROS COMPONENTES / OBRAS ANEXAS 48

4. CONCLUSIONES 51

5. BIBLIOGRAFÍA 56

6. ANEXOS 59

6.1 PLANO DE RED DE DISTRIBUCIÓN 59

6.2 PRECIPITACIÓN 60

6.3 PRECIPITACIÓN CONFIABLE 60

6.4 PRECIPITACIÓN EFECTIVA 61

6.5 DOSIS BRUTA 61

6.6 PLANOS 62

6.7 CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS DE RED PRINCIPAL EN EL INSTANTE DE FUNCIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES SECTORES CALCULADOS MEDIANTE EL SOFTWARE EPANET 2.0..... 62



Índice de Tablas

Tabla 2.1 Pruebas expeditas para abatimiento de nivel freático realizadas en el pozo de captación.....	23
Tabla 2.2 Áreas verdes ajustadas dependiendo del tipo de cultivo.....	25
Tabla 2.3 Agua total disponible (TAW) para el césped y cultivos ornamentales. ...	27
Tabla 2.4 Agua realmente utilizable (RAW) para cultivo de césped y plantas ornamentales.....	27
Tabla 2.5 Evapotranspiración de referencia calculada con el método FAO Penman-Monteith [mm/día] mediante el software ETO Calculator.	28
Tabla 2.6 Evapotranspiración de cultivo para cultivos de césped y plantas ornamentales [mm/día].....	29
Tabla 2.7 Valores de precipitación confiable con probabilidad de excedencia del 80% mediante la distribución Weibull.....	29
Tabla 2.8 Precipitación efectiva [mm/mes], [mm/día].....	30
Tabla 2.9 Área cubierta por los diferentes sistemas de aplicación según el tipo de cultivo.....	30
Tabla 2.10 Norma de Riego para cada cultivo [m ³ /día/ha].....	30
Tabla 2.11 Norma de riego bruta para césped [m ³ /día].....	31
Tabla 2.12 Norma de riego bruta para ornamentales [m ³ /día].....	31
Tabla 2.13 Norma de riego bruta para los diferentes cultivos [m ³ /día].....	31
Tabla 2.14 Dosis bruta para cultivo de césped y plantas ornamentales [mm].....	31



Tabla 2.15 Norma de riego bruta [$m^3/día$] y dosis bruta [mm] para 3.98 ha.	32
Tabla 3.1 Tiempo de riego para cada sección aplicada desde la cisterna oeste...	36
Tabla 3.2 Tiempo de riego para cada sección aplicada desde la cisterna sur.	38
Tabla 3.3 Factor k para accesorios utilizados en el proyecto	39
Tabla 3.4 Cálculo de potencia requerida	44
Tabla 3.5 Configuración de llenado y vaciado de cisterna sur – Día 1	46
Tabla 3.6 Configuración de llenado y vaciado de cisterna oeste – Día 1 – Sector 1	47
Tabla 3.7 Configuración de llenado y vaciado de cisterna sur – Día 2 – Sector 2.	47
Tabla 3.8 Configuración de llenado y vaciado de cisterna sur – Día 3 – Sector 3.	48
Tabla 3.9 Configuración de llenado y vaciado de cisterna sur – Día 4 – Sector 4.	48
Tabla 3.10 Instante de apertura de válvulas en función del programa.	49
Tabla 3.11 Materiales y equipamiento a utilizar en el proyecto	50



Índice de Figuras

Figura 2.1 Vista en planta de la proyección del campus Balzay.....	23
Figura 2.2 Ubicación de cisterna sur, cisterna oeste y pozo de captación.	24
Figura 2.3 Esquema tipología y disposición proyectada para áreas verdes del campus Balzay	25
Figura 2.4 Características típicas de la humedad del suelo para diferentes tipos de suelo.....	26
Figura 2.5 Valores del coeficiente único del cultivo, K_c y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ($HR_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2 \text{ m s}^{-1}$) para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith E_{To}	28
Figura 3.1 Zonas donde se utilizarán los emisores tipo 1, tipo 2 y cinta de goteo. 33	
Figura 3.2 Trazado de red secundaria	34
Figura 3.3 Secciones a ser regadas en el sector 1, desde la cisterna oeste.....	36
Figura 3.4 Secciones a ser regadas en el sector 2, desde la cisterna sur.	37
Figura 3.5 Secciones a ser regadas en el sector 3, desde la cisterna sur.	37
Figura 3.6 Secciones a ser regadas en el sector 4, desde la cisterna sur.	38
Figura 3.7 Ubicación de sistema de impulsión.	41
Figura 3.8 Curva resistente de instalación para el sistema de bombeo 1	42
Figura 3.9 Curva resistente de instalación para el sistema de bombeo 2	43



Figura 3.10 Curva resistente de instalación para el sistema de bombeo 3 43

Figura 3.11 Curva característica Bomba 1- Curva resistente 45

Figura 3.12 Curva característica Bomba 2- Curvas resistentes 45

Figura 3.13 Curvas resistentes - Curva característica Bomba 3 46



Índice de Ecuaciones

Ecuación 1.1.....	18
Ecuación 1.2.....	19
Ecuación 1.3.....	19
Ecuación 1.4.....	20
Ecuación 1.5.....	21
Ecuación 1.6.....	21
Ecuación 1.7.....	21
Ecuación 2.1.....	29
Ecuación 2.2.....	29



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Alex Adrian Arce Prieto en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Diseño del sistema de irrigación tecnificado para el Eco-campus Balzay 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, 4 de noviembre de 2021

Alex Adrian Arce Prieto

C.I: 0301939203



Cláusula de Propiedad Intelectual

Alex Adrian Arce Prieto, autor del trabajo de titulación "Diseño del sistema de irrigación tecnificado para el Eco-campus Balzay de la Universidad de Cuenca.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 4 de noviembre de 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized letters, positioned above a horizontal line.

Alex Adrian Arce Prieto

C.I: 0301939203



Agradecimiento

Agradezco a mi familia y amigos porque durante mis años de universidad estuvieron siempre motivándome, dándome ánimos y la fortaleza necesaria para no abandonar este camino. Por apoyarme a cumplir mis metas trazadas y por respaldarme en cada decisión tomada.



Dedicatoria

Quiero dedicar el presente trabajo de titulación a mi padre Patricio Arce, porque, aunque hoy no está presente físicamente conmigo, siempre habitará en mi memoria y vivirá en mis recuerdos. Esté en donde esté, seguro estoy que está muy orgulloso de ver a su hijo ser un profesional. Se lo dedico porque me dio el mejor regalo en la vida, la educación y porque hasta el último de sus días de vida en la tierra creyó en mí.



Antecedentes

El crecimiento demográfico, la rápida urbanización, los cambios en los hábitos de vida y el desarrollo económico, han provocado un significativo incremento de la presión que soportan los recursos hídricos (UNESCO, 2020). La pérdida de la capa vegetal, ocasionada por los cambios de uso del suelo, produce un decrecimiento de las aportaciones hídricas, disminución de la humedad ambiental y un aumento de la concentración de partículas contaminantes (Pérez et al, 2018). En general, las actividades humanas dentro de las urbes han trastocado el medioambiente modificando o alterando procesos naturales. Sin embargo, la vegetación constituye un medio efectivo para la mitigación de los efectos negativos de la urbanización (Pimienta et al., 2012).

A través del Laboratorio de Hidráulica y Dinámica de Fluidos LH&DF y el Departamento de Ingeniería Civil, se ha planteado, como iniciativa de desarrollo de infraestructura verde, la implementación de un sistema de irrigación tecnificado para el Eco-campus Balzay de la Universidad de Cuenca que contemple componentes para manejo y operación acordes a la planificación de un campus ecológico y de vanguardia.

En este contexto, el presente trabajo de titulación abarca el diseño de un sistema de irrigación para el Eco-campus Balzay que responda a las necesidades de optimización de los recursos hídricos, así como, a procesos de incorporación de avances tecnológicos y transferencia de tecnología en irrigación, respondiendo al Eje programático de “Planeación - Manejo - Aprovechamiento del Recurso Hídrico y Vigilancia de la Calidad de Agua” del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca, eje que está dirigido a fortalecer la gestión del recurso para el desarrollo de infraestructura y servicios que garanticen la disponibilidad y aprovechamiento eficiente del agua.



Justificación

Teniendo en consideración que la Universidad de Cuenca ha implementado el Campus Ecológico Balzay, en un concepto de desarrollo amigable con el entorno, se ha planteado, de manera complementaria al diseño, la generación y mantenimiento de áreas verdes a través el uso adecuado de los recursos hídricos. En respuesta a estos objetivos, la ejecución del trabajo de titulación busca optimizar el diseño del sistema de irrigación, así como los procesos de operación de los diferentes componentes.

Objetivo general

Aportar al desarrollo de infraestructura verde para el Eco-campus Balzay de la Universidad de Cuenca mediante el diseño de un sistema de irrigación tecnificado.

Objetivos específicos

- Caracterizar la zona de intervención mediante la identificación de requerimientos de infraestructura, condicionantes físicas, y de necesidades de agua para desarrollo y mantenimiento de áreas verdes.
- Dimensionar sistemas de distribución y aplicación de agua de riego.
- Seleccionar la tecnología de irrigación para manejo y control del sistema.



1. INTRODUCCIÓN

1.1 El riego tecnificado en el desarrollo de espacios urbanos

El riego es un mecanismo que consiste en el aporte artificial de agua a las plantas, con el propósito de que estas puedan satisfacer sus necesidades hídricas en consideración de los procesos biofísicos del suelo y la atmosfera. La incorporación de agua para irrigación es necesaria, tanto para proyectos relacionados con agricultura y producción agrícola, así como para proyectos e intervenciones de desarrollo de infraestructura urbana complementaria, mismos que ayudan a mitigar los efectos negativos que tiene el crecimiento de ciudades.

1.2 Consideraciones teóricas relevantes para el dimensionamiento de sistemas de riego tecnificado.

Métodos de aplicación de riego tecnificado

En los últimos años comúnmente se está empleando en espacios urbanos y zonas de jardines y áreas verdes el riego mediante goteo y aspersión automatizados.

El riego por goteo es un sistema que entrega el agua mediante cintas con goteros a solo una parte del suelo donde se concentran las raíces, por ello también se le llama riego localizado o de alta frecuencia. Por su bajo costo de instalación y mantenimiento, fácil operación y muy alta eficiencia es un sistema muy adecuado para áreas pequeñas.

El riego mediante aspersión consiste en impulsar agua a presión a través de pequeñas boquillas dispuestas en aspersores. El riego por aspersión replica fundamentalmente el fenómeno de la lluvia, puesto que entrega el agua lo suficientemente abundante como para llenar las reservas del suelo, con una capacidad (pluviosidad) dimensionada para no producir escorrentías o erosionar el suelo cultivable.



Determinación de necesidades de riego de las áreas verdes

La necesidad de agua de un cultivo se define como la cantidad de agua requerida para satisfacer la pérdida por evapotranspiración. El tiempo y la cantidad de agua requerida están determinados por las condiciones climáticas de la región, el tipo de cultivo y su etapa de crecimiento, las propiedades del suelo y el grado de desarrollo de las raíces.

La evapotranspiración de referencia (ET_0) según Allen et al. (2006) se define como:

La evapotranspiración de un cultivo con condiciones estandarizadas, muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo.

Varios investigadores han analizado el rendimiento de diferentes métodos de cálculo, recomendando el método FAO Penman-Monteith como el único método estándar para definir y calcular la ET_0 .

Puesto que la evapotranspiración de referencia se define para un cultivo idealizado, es necesario determinar la evapotranspiración de cultivo (ET_c) mediante el coeficiente de cultivo (K_c), que aumenta o reduce la evapotranspiración dependiendo de las características del cultivo como se muestra en la Ecuación 1.1.

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde, ET_c : Evapotranspiración de cultivo [mm/día], ET_0 : Evapotranspiración de referencia [mm/día], K_c : Coeficiente de cultivo [adimensional].

El coeficiente K_c representa el efecto de la altura del cultivo, el albedo, la cobertura del suelo y la superficie foliar sobre el cultivo de pasto de referencia. En un cultivo determinado el factor K_c varía en función de las diferentes etapas de crecimiento: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada y final de temporada (Allen et al., 2006).



La precipitación mitiga la pérdida de agua por evapotranspiración, sin embargo, no toda la precipitación es aprovechable, puesto que, si la cantidad de lluvia es pequeña es posible que no se use el agua porque todo o parte de esta permanece en la superficie de la vegetación o en el suelo seco y luego se evapora desde allí. Por el contrario, si la lluvia es de gran intensidad, parte del agua de lluvia no penetrará ni se almacenará en el suelo, generando con ello escorrentía superficial. Por esta razón, es necesario utilizar datos de precipitación efectiva mensual promedio, estimados mediante el método del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos -SCS-USDA-, (FAO, FIDA, & Cooperación suiza en América central, 2013).

Así, la necesidad de agua de riego o norma de riego de las áreas verdes se obtiene de la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva, como se puede ver en la Ecuación 1.2.

$$NR = (ET_c - P_{\text{efectiva}}) \times 10 \quad \text{Ecuación 1.2}$$

En donde, NR: norma de riego neta [$\text{m}^3/\text{día}/\text{ha}$], ET_c : evapotranspiración de cultivo [$\text{mm}/\text{día}$], P_{efectiva} : precipitación efectiva [$\text{mm}/\text{día}$].

Para obtener el requerimiento bruto de agua de riego en un proyecto, se considera la superficie del cultivo y la eficiencia del método de riego como se muestra en la Ecuación 1.3.

$$NR_{\text{bruta}} = \left(\frac{NR \times Ac}{E_a} \right) \quad \text{Ecuación 1.3}$$

En donde, NR_{bruta} : norma de riego bruta [$\text{m}^3/\text{día}$], Ac: área del cultivo [ha], E_a : Eficiencia de aplicación [%].

Importancia del suelo como medio regulador de humedad en sistemas para mantenimiento de áreas verdes.

El contenido de agua en el suelo está relacionado con propiedades como textura, consistencia, plasticidad, expansión, contracción, compactibilidad, adherencia y trabajabilidad. En aplicaciones de riego, el contenido de humedad del suelo



expresado en unidades lineales, corresponde a la altura de lámina de agua que se formaría si se extrajera toda el agua del suelo desde una profundidad específica y se la pusiera sobre la superficie (Alvear et al, 1999).

El Agua total disponible (Total Available Water TAW) representa la cantidad de agua que un suelo puede almacenar luego de haberse dado la percolación por gravedad. Para su estimación se requiere determinar la humedad de capacidad de campo y la humedad de punto de marchitez, con lo cual su magnitud, considerando como referencia la profundidad de la zona radicular, dependerá del tipo de suelo y la profundidad de las raíces.

La humedad de capacidad de campo (θ_{FC}) representa la cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene en contra de las fuerzas gravitatorias, en tanto que, la humedad de punto de marchitez permanente (θ_{WP}) es el contenido de humedad en el suelo donde la planta se marchita.

Debido a que contenidos de humedad por encima de capacidad de campo no pueden ser retenidos y son drenados y debido a que contenidos de humedad por debajo del punto de marchitez permanente no pueden ser extraídos por las raíces de las plantas, el total de agua disponible en la zona radicular será la diferencia entre los contenidos de humedad a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente como se muestra en la Ecuación 1.4 (Allen et al., 2006).

$$TAW = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_r \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde, TAW: Agua total disponible en la zona radicular del suelo [mm], θ_{FC} : Contenido de humedad a capacidad de campo [m^3/m^3], θ_{WP} : contenido de humedad en el punto de marchitez permanente [m^3/m^3], Z_r profundidad de las raíces [m].

La cantidad de agua que toman los cultivos se reducirá considerablemente antes de que alcancen el punto de marchitez, esto debido a que la humedad del suelo no se transportará a las raíces a una velocidad suficiente para satisfacer la demanda de transpiración y el cultivo comenzará a sufrir estrés, por lo tanto, se modifica TAW



mediante un factor de reducción como se muestra en la Ecuación 1.5. La fracción de TAW que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico es denominada agua fácilmente aprovechable (Real Available Water RAW), (Allen et al., 2006, p. 162).

$$RAW = p \times TAW \quad \text{Ecuación 1.5}$$

En donde, RAW: agua fácilmente aprovechable [mm], p: fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (TAW) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico [menor que 1].

Determinación de frecuencias, dosis y caudales

La frecuencia máxima de riego se refiere al intervalo máximo de días que pueden transcurrir entre dos riegos consecutivos. El cálculo de este parámetro considera el número de días que tarde agotarse el agua fácilmente aprovechable (RAW) a medida que el cultivo lo va evaporando como se muestra en la Ecuación 1.6.

$$F_{\max} = \frac{RAW}{ET_c - P_{\text{efectiva}}} \quad \text{Ecuación 1.6}$$

En donde, F_{\max} : frecuencia máxima de aplicación de riego [día], ET_c : evapotranspiración de cultivo [mm/día], P_{efectiva} : precipitación efectiva [mm/día].

Para calcular la dosis bruta (lámina) que se necesita para regar el área de cultivo, se considera el requerimiento de agua, la eficiencia del método de aplicación y la frecuencia seleccionada. Luego de establecer la frecuencia de aplicación, que comúnmente es menor a la F_{\max} se tiene:

$$I_g = \frac{ET_c - P_{\text{efectiva}}}{E_a} \times F \quad \text{Ecuación 1.7}$$

En donde, I_g : dosis bruta [mm], ET_c : evapotranspiración de cultivo [mm/día], P_{efectiva} : precipitación efectiva [mm/día], F: frecuencia establecida [días]. E_a : Eficiencia de aplicación.

Luego de definida la frecuencia y dosis de riego se establece los caudales que gobernarán el sistema. De esta manera, con miras a diseñar la conducción, se obtiene el caudal continuo equivalente del proyecto, estimándose una eficiencia de



conducción y definiendo el tiempo de extracción de agua desde la fuente. Este caudal, relacionado con la superficie del proyecto determina el caudal característico, generalmente expresado en litros por segundo por hectárea, parámetro que es un indicador del tipo de requerimiento de recurso hídrico de un proyecto de riego.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Zona de estudio: Identificación de infraestructura existente y requerida

El Eco-campus Balzay es un proyecto institucional dirigido a potenciar el desarrollo científico, tecnológico, en los campos de conocimiento de las ingenierías, tecnologías, biociencias, industria y producción. El campus abarca un conjunto de edificios emplazados en el terreno de manera organizada y sistemática (Universidad de Cuenca, 2021)

Con base a la planificación establecida, se ha venido desarrollando la infraestructura y los diferentes bloques urbanísticos que se instaurarán en el campus universitario. En este sentido, se definieron áreas de jardines y espacios verdes que permitan mantener procesos ecológicos, mitigar efectos negativos de la urbanización y, además, aportar a una mejor convivencia universitaria. El campus Balzay se encuentra en su fase de construcción y se tiene planificado la implementación de 3.97 ha de áreas verdes dentro de las 11.7 ha del campus como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Vista en planta de la proyección del campus Balzay.

3.97 ha de áreas verdes dispuestas entre 11.7 ha de edificaciones, parqueaderos, mobiliario, vías y camineras. Fuente: Dirección de Planificación Física de la Universidad de Cuenca

Pozo para la captación de agua subterránea

El sistema de captación para el desarrollo del sistema de irrigación consta de un pozo superficial que aprovechará el agua bajo el nivel freático, mismo que se encuentra construido junto a lo que será el Aulario 1 y tiene una profundidad de 3.44 m con respecto a la superficie. El nivel freático, sin embargo, se encuentra en la cota 2595 m.s.n.m. a 2.16 m con respecto a la superficie.

Mediante pruebas de bombeo, se determinó que el pozo tiene la capacidad de aportar 5 l/s con un descenso de nivel freático de 8 cm alrededor del eje vertical del pozo. En la Tabla 2.1 se muestra el descenso del nivel freático o abatimiento (s), para diferentes pruebas de caudal que se realizaron in situ, donde (H) es el nivel del agua antes del bombeo y (hw) el nivel de agua después del bombeo

Prueba	Altura (H) [m]	Altura (hw) [m]	Abatimiento (s) [m]	Tiempo de bombeo [min]	Caudal [l/s]
1	1.347	1.327	0.02	20	0.15
2	1.347	1.287	0.06	40	2.83
3	1.347	1.267	0.08	60	5.08

Tabla 2.1 Pruebas expeditas para abatimiento de nivel freático realizadas en el pozo de captación.



Sistema de almacenamiento y distribución de agua de riego

Debido a que la captación se encuentra por debajo del nivel de la superficie se utilizará sistemas de impulsión para distribuir el agua de riego. En el campus se encuentran construidas dos cisternas: sur de 18 m³ y oeste de 30 m³. Su base se encuentra a 1.8m por debajo de la superficie, poseen un cárcamo de succión a 0.4 m por debajo de la base y cuentan con un cuarto de bombeo. Las cisternas serán utilizadas como reservorios del sistema de irrigación tecnificado, y operarán con sistemas de bombeo independientes como se muestra en la Figura 2.2.

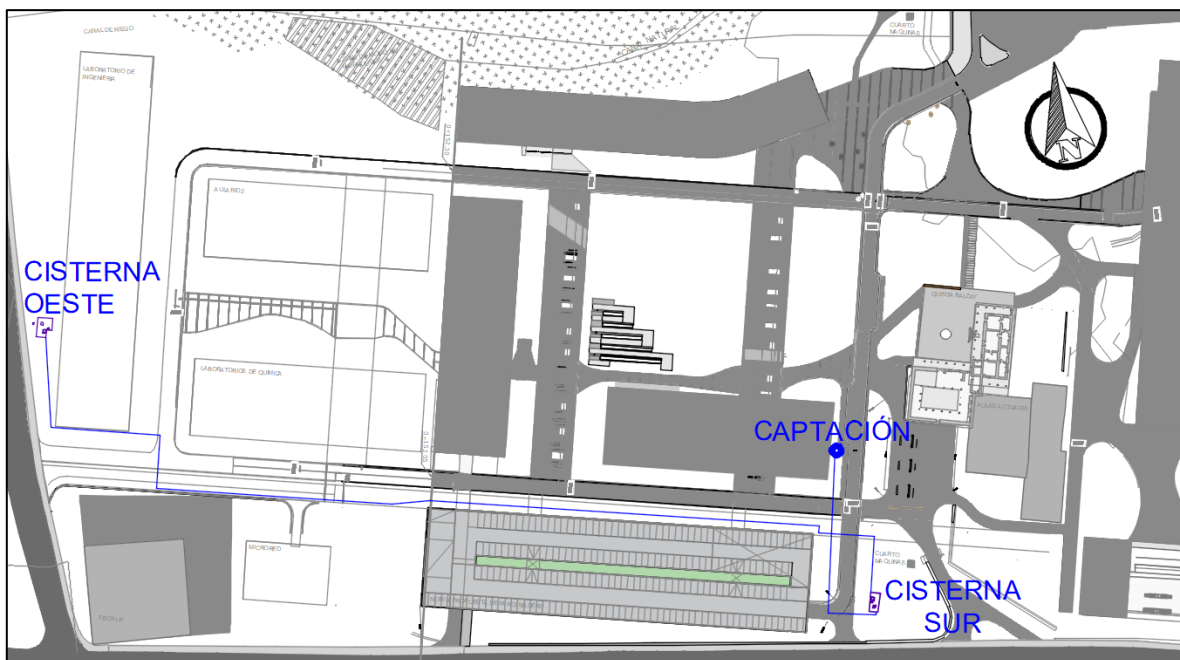


Figura 2.2 Ubicación de cisterna sur, cisterna oeste y pozo de captación.

Red de distribución

La red de distribución se encuentra construida a lo largo del campus Balzay a 40 cm de profundidad bajo la superficie. Se comprobó mediante planos proporcionados por la Dirección de Planificación Física de la Universidad de Cuenca, que constan con tuberías de distribución de 110 mm, 90 mm y 63 mm como se observa en el Anexo 6.1.

2.2 Planificación de áreas verdes

Luego del análisis de los planos de construcción y planificación, se obtuvo un total de 3.98 ha de áreas verdes, fraccionadas entre césped y plantas ornamentales, como se muestra en la Figura 2.3.



Figura 2.3 Esquema tipología y disposición proyectada para áreas verdes del campus Balzay

Sin embargo, para la ejecución del proyecto de diseño se consideró además que el 20% del área total de césped corresponde a plantas ornamentales; mismas que aportarán sombra y evitarán sensación de monotonía a los usuarios. Así, el total de área de césped y plantas ornamentales se muestran en la Tabla 2.2.

Tipo de cultivo	Área (m ²)
Césped	24911.91
Ornamentales	14875.31
Total	39787.22

Tabla 2.2 Áreas verdes ajustadas dependiendo del tipo de cultivo.



2.3 Caracterización de aspectos biofísicos del proyecto

Humedad del suelo y capacidad de retención

Para saber la cantidad de agua que un suelo puede almacenar, primero se conoció la profundidad efectiva de raíces mediante la tabla: Rangos de profundidad máxima efectiva de las raíces (Z_r) y fracción de agotamiento de la humedad. (Allen et al., 2006), obteniendo una profundidad radicular de 0,5 m para pastos y 0,8 m para plantas ornamentales y un factor de fracción de agotamiento de 0,4 para pastos y plantas ornamentales.

Debido al constante movimiento de tierras por los trabajos realizados en la construcción del eco-campus Balzay, existen diferentes tipos y texturas de suelo, por lo que en la fase final de construcción se considerará colocar un suelo con textura franco-arenosa. En donde, según la tabla: Características típicas de la humedad del suelo para diferentes tipos de suelo. (Allen et al., 2006), se escogió una humedad de capacidad de campo de 0,23 y una humedad de punto de marchitez de 0,11 para un suelo franco arenoso como se muestra en la Figura 2.4.

Tipo de Suelo (Clasificación de la textura del Suelo del USDA)	Características de la humedad del suelo			Parámetros de Evaporación	
	θ_{fc}	θ_{wp}	$(\theta_{fc} - \theta_{wp})$	Cantidad de agua que puede ser agotada a través de la evaporación	
				Etapa 1 AFE	Etapa 1 y 2 AET* ($Z_e = 0,10$ m)
	m^3/m^3	m^3/m^3	m^3/m^3	mm	mm
Arenoso	0,07 - 0,17	0,02 - 0,07	0,05 - 0,11	2 - 7	6 - 12
Arenoso Franco	0,11 - 0,19	0,03 - 0,10	0,06 - 0,12	4 - 8	9 - 14
Franco Arenoso	0,18 - 0,28	0,06 - 0,16	0,11 - 0,15	6 - 10	15 - 20
Franco	0,20 - 0,30	0,07 - 0,17	0,13 - 0,18	8 - 10	16 - 22
Franco Limoso	0,22 - 0,36	0,09 - 0,21	0,13 - 0,19	8 - 11	18 - 25
Limoso	0,28 - 0,36	0,12 - 0,22	0,16 - 0,20	8 - 11	22 - 26
Franco Arcillo Limoso	0,30 - 0,37	0,17 - 0,24	0,13 - 0,18	8 - 11	22 - 27
Arcillo Limoso	0,30 - 0,42	0,17 - 0,29	0,13 - 0,19	8 - 12	22 - 28
Arcilloso	0,32 - 0,40	0,20 - 0,24	0,12 - 0,20	8 - 12	22 - 29

Figura 2.4 Características típicas de la humedad del suelo para diferentes tipos de suelo (Allen et al., 2006)

Para encontrar la cantidad adecuada de agua para el cultivo, se calculó el agua total disponible (TAW) mediante la Ecuación 1.4 a partir de la longitud de profundidad



radicular de cada cultivo y de la diferencia de la humedad de capacidad de campo y humedad de punto de marchitez como se muestra en la Tabla 2.3.

Tipo de suelo	Franco Arenoso
Humedad de capacidad de campo (θ_{FC}) [m ³ /m ³]	0.23
Humedad de punto de marchitez (θ_{WP}) [m ³ /m ³]	0.11
TAW Césped [mm] (Zr=0.5m)	60
TAW Ornamentales [mm] (Zr=0.8m)	96

Tabla 2.3 Agua total disponible (TAW) para el césped y cultivos ornamentales.

A partir de estos datos y utilizando el factor de reducción, se encontró la cantidad de agua realmente utilizable (RAW) como se muestra en la Tabla 2.4.

Cultivo	(p) Fracción de agua fácilmente utilizable	RAW (mm)
Césped	0.40	24.0
Ornamental	0.40	38.40

Tabla 2.4 Agua realmente utilizable (RAW) para cultivo de césped y plantas ornamentales.

La importancia de encontrar la capacidad de almacenamiento sirve esencialmente para determinar la frecuencia máxima de riego. En este sentido, considerando el valor de RAW de 24 mm como el más seguro para minimizar pérdidas por percolación profunda y mediante la Ecuación 1.6, se encontró que la frecuencia máxima permisible para el mes de agosto (mes con mayor necesidad de agua de riego) será de 12 días.

Para un mejor manejo del sistema de riego se eligió una frecuencia de 7 días, de esta manera el riego para cada sector ocurrirá una vez por semana.

Necesidades de agua para el desarrollo y mantenimiento de áreas verdes

Los factores climáticos se obtuvieron de la estación meteorológica Balzay de la Universidad de Cuenca, que se encuentra en el mismo campus.

Para la determinación de la evapotranspiración de referencia, se utilizó el software ETo Calculator (FAO, 2012), donde se utilizaron parámetros climáticos como: temperatura máxima diaria media [°C], temperatura mínima media diaria [°C],



humedad relativa [%], velocidad media del viento [km/día], promedio de horas de sol al día [horas], radiación solar media [MJ/m²/día] y precipitación mensual [mm/mes]. En base a las condiciones climáticas se encontró la evapotranspiración promedio para cada mes como se muestra en la Tabla 2.5.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
ETo (mm/día)	2.84	2.91	2.67	2.51	2.49	2.26	2.26	2.44	2.69	2.86	3.07	2.99

Tabla 2.5 Evapotranspiración de referencia calculada con el método FAO Penman-Monteith [mm/día] mediante el software ETO Calculator.

Para determinar el coeficiente de cultivo (K_c) del césped se utilizó el cuadro desarrollado por Allen et al. (2006, p. 110) donde se seleccionó los valores de K_c medio, puesto que al ser un cultivo perenne y al recibir mantenimiento de podado solamente se considera la fase de mediados de temporada, obteniendo un valor $K_c=0.95$ para pastos (época fría), como se muestra en la Figura 2.5.

Cultivo	$K_{c,ini}^1$	$K_{c,med}$	$K_{c,fin}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
j. Forrajes				
Alfalfa (heno) – efecto promedio de los cortes	0,40	0,95 ¹³	0,90	0,7
– periodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,20 ¹⁴	1,15 ¹⁴	0,7
– para semilla	0,40	0,50	0,50	0,7
Bermuda (heno) – efecto promedio de los cortes	0,55	1,00 ¹³	0,85	0,35
– cultivo para semilla (primavera)	0,35	0,90	0,65	0,4
Trébol heno, Bersim – efecto promedio de los cortes	0,40	0,90 ¹³	0,85	0,6
– periodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	0,6
Rye Grass (heno) – efecto promedio de los cortes	0,95	1,05	1,00	0,3
Pasto del Sudán (anual) – efecto promedio de los cortes	0,50	0,90 ¹⁴	0,85	1,2
– periodo individual de corte	0,50 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	1,2
Pastos de Pastoreo – pastos de rotación	0,40	0,85-1,05	0,85	0,15-0,30
– pastoreo extensivo	0,30	0,75	0,75	0,10
Pastos (césped, turfgrass) – época fría ¹⁵	0,90	0,95	0,95	0,10
– época caliente ¹⁵	0,80	0,85	0,85	0,10
k. Caña de azúcar	0,40	1,25	0,75	3
l. Frutas Tropicales y Árboles				
Banana – 1 ^{er} año	0,50	1,10	1,00	3
– 2 ^{do} año	1,00	1,20	1,10	4
Cacao	1,00	1,05	1,05	3
Café – suelo sin cobertura	0,90	0,95	0,95	2-3
– con malezas	1,05	1,10	1,10	2-3
Palma Datilera	0,90	0,95	0,95	8
Palmas	0,95	1,00	1,00	8
Piña ¹⁶ – suelo sin cobertura	0,50	0,30	0,30	0,6-1,2
– con cobertura de gramíneas	0,50	0,50	0,50	0,6-1,2
Árbol del Caucho	0,95	1,00	1,00	10
Té – no sombreado	0,95	1,00	1,00	1,5
– sombreado ¹⁷	1,10	1,15	1,15	2
m. Uvas y Moras				
Moras (arbusto)	0,30	1,05	0,50	1,5
Uvas – Mesa o secas (pasas)	0,30	0,85	0,45	2
– Vino	0,30	0,70	0,45	1,5-2
Lúpulo	0,3	1,05	0,85	5

Figura 2.5 Valores del coeficiente único del cultivo, K_c y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ($HR_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2 \text{ m s}^{-1}$) para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith ETo.



(Allen et al., 2006)

Según (Rubio García & López Ruiz, 2015), para el caso de las plantas ornamentales o plantas con flor, árboles, arbustos, etc. se considera un coeficiente de cultivo medio con un valor de $K_c=0.8$.

Una vez obtenida la evapotranspiración de referencia y el coeficiente de cultivo K_c , mediante la Ecuación 1.1 se encontró la evapotranspiración de cultivo, obteniendo los resultados mensuales mostrados en la Tabla 2.6.

ETc (mm/día)	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Césped	2.70	2.77	2.54	2.39	2.36	2.14	2.14	2.32	2.55	2.71	2.92	2.84
Ornamentales	2.27	2.33	2.14	2.01	1.99	1.81	1.81	1.95	2.15	2.29	2.46	2.39

Tabla 2.6 Evapotranspiración de cultivo para cultivos de césped y plantas ornamentales [mm/día]

En base a los datos de precipitación mensual de la estación pluviométrica que se muestran en el Anexo 6.2.1, se estableció una precipitación confiable mediante el método Weibull como se muestran gráficamente en el Anexo 6.3.1 y cuyos resultados para una probabilidad de excedencia del 80% se muestran en la Tabla 2.7.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Precipitación (mm/mes)	76.0	51.0	101.0	92.0	75.0	35.0	14.0	10.0	22.0	53.0	37.0	31.0

Tabla 2.7 Valores de precipitación confiable con probabilidad de excedencia del 80% mediante la distribución Weibull.

A partir de estos datos de precipitación, se calculó la precipitación efectiva con el método SCS-USDA (Smith, 1992) como se muestra en la Ecuación 2.1 y Ecuación 2.2 mediante el software CROPWAT 8.0 (Swennenhuis et al, 2009).

$$P_{\text{efectiva}} = P_{\text{tot}}(125 - 0.2 \times P_{\text{tot}}) / 125 \quad \text{para } P_{\text{tot}} < 250\text{mm} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$P_{\text{efectiva}} = 125 + 0.1 P_{\text{tot}} \quad \text{para } P_{\text{tot}} > 250\text{mm} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

En donde, P_{efectiva} : precipitación efectiva [mm/mes], P_{tot} : precipitación confiable [mm/mes].

Estos datos mensuales se factorizaron para cada mes a manera diaria y los



resultados se muestran en la Tabla 2.8 donde se puede observar que el mes de agosto tiene menor precipitación mientras que el mes de marzo evidencia mayor precipitación. En tanto que en el Anexo 6.4.1 se compara gráficamente la precipitación confiable con la precipitación efectiva.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
P efectiva (mm/mes)	66.8	46.8	84.7	78.5	66.0	33.0	13.7	9.8	21.2	48.5	34.8	29.5
P efectiva (mm/día)	2.15	1.67	2.73	2.62	2.13	1.10	0.44	0.32	0.71	1.56	1.16	0.95

Tabla 2.8 Precipitación efectiva [mm/mes], [mm/día].

Para los diferentes sistemas de aplicación, se optó por utilizar las eficiencias presentadas por Carrazón (2007) con una eficiencia del 80% para aplicaciones por aspersión y del 90% para sistemas por goteo. El área que cubren los emisores según el tipo de aplicación se muestra en la Tabla 2.9.

Tipo de Cultivo	A (has)	% de área	Tipo de aplicación	Eficiencia de aplicación (%)
Césped	2.38	59.8%	aspersión	80
Ornamentales	1.01	25.3%	aspersión	80
Césped	0.11	2.8%	goteo	90
Ornamentales	0.48	12.1%	goteo	90

Tabla 2.9 Área cubierta por los diferentes sistemas de aplicación según el tipo de cultivo.

A partir de la precipitación efectiva y de la evapotranspiración de cultivo se obtuvo la norma de riego [m³/día/ha] mediante la Ecuación 1.2 cuyos resultados se muestran en la Tabla 2.10 para cada tipo de cultivo. Los meses que no poseen valores de norma de riego son meses en donde la precipitación efectiva supera los valores de evapotranspiración de cultivo.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
NR [m ³ /día/ha] (Césped)	5.46	10.95	-	-	2.32	10.44	17.02	20.05	18.45	11.50	17.58	18.85
NR [m ³ /día/ha] (Ornamentales)	1.19	6.59	-	-	-	7.06	13.64	16.38	14.42	7.21	12.97	14.37

Tabla 2.10 Norma de Riego para cada cultivo [m³/día/ha]

Partiendo de los datos de la Tabla 2.9 y Tabla 2.10 y mediante la Ecuación 1.3, se consiguió la norma de riego bruta [m³/día] según el tipo de aplicación para cada



cultivo, cuyos resultados se muestran en la Tabla 2.11 para el césped y en la Tabla 2.12 para plantas ornamentales.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
NR _{bruta} [m ³ /día] (césped por aspersión)	16.25	32.61	-	-	6.92	31.08	50.67	59.67	54.91	34.22	52.32	56.10
NR _{bruta} [m ³ /día] (césped por goteo)	0.67	1.34	-	-	0.28	1.28	2.08	2.45	2.26	1.41	2.15	2.30

Tabla 2.11 Norma de riego bruta para césped [m³/día]

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
NR _{bruta} [m ³ /día] (ornamentales por aspersión)	1.50	8.30	-	-	-	8.89	17.18	20.64	18.17	9.09	16.34	18.11
NR _{bruta} [m ³ /día] (ornamentales por goteo)	0.64	3.51	-	-	-	3.76	7.27	8.73	7.68	3.84	6.91	7.66

Tabla 2.12 Norma de riego bruta para ornamentales [m³/día]

Según el Anexo 6.5.1 y Anexo 6.5.2 se observa que la dosis (lg) calculada mediante la Ecuación 1.7 para cada tipo de aplicación son similares, por esta razón, no se consideró la dosis para cada aplicación por separado sino se consideró la suma de la norma bruta de cada tipo de aplicación para cada cultivo como se muestra en la Tabla 2.13. y se calculó la dosis (lg) con un área de 2.49 ha para el césped y 1.49 ha para las plantas ornamentales como se muestra en la Tabla 2.14.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
NR _{bruta} [m ³ /día] (Césped)	16.92	33.94	-	-	7.20	32.36	52.75	62.12	57.16	35.63	54.47	58.40
NR _{bruta} [m ³ /día] (Ornamentales)	2.14	11.81	-	-	-	12.65	24.45	29.37	25.85	12.93	23.26	25.76

Tabla 2.13 Norma de riego bruta para los diferentes cultivos [m³/día]

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
lg [mm] Césped	4.75	9.54	-	-	2.02	9.09	14.82	17.45	16.06	10.01	15.31	16.41
lg [mm] Ornamentales	1.01	5.56	-	-	0.00	5.95	11.51	13.82	12.16	6.08	10.94	12.12

Tabla 2.14 Dosis bruta para cultivo de césped y plantas ornamentales [mm].

Se observa que la dosis es mayor en el mes de agosto para ambos cultivos y que la diferencia de dosis entre ambos es alrededor del 21%. Además, sabiendo que se consideró que el 20% del área total de césped corresponde a plantas ornamentales,



se asumirá una sola dosis para los dos cultivos, puesto que se manejó una asunción que no permitirá localizar explícitamente los cultivos ornamentales asumidos.

La suma de la norma de riego bruta de los dos cultivos proporciona la norma de riego bruta para todo el proyecto (considerando eficiencia de aplicación y tipo de cultivo), es decir para las 3,98 ha y a partir de esta se obtuvo la dosis bruta (I_g) como se muestra en la Tabla 2.15, cuyos resultados nos indican que los cultivos en los meses de marzo y abril no poseen necesidades de riego mientras que el mes de agosto es el mes con mayor necesidad de riego.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
NR_{bruta} [$m^3/día$]	19.06	45.75	-	-	7.20	45.01	77.20	91.48	83.01	48.56	77.73	84.17
I_{gbruta} [mm]	3.35	8.05	-	-	1.27	7.92	13.58	16.10	14.61	8.54	13.67	14.81

Tabla 2.15 Norma de riego bruta [$m^3/día$] y dosis bruta [mm] para 3.98 ha.

Para el proyecto se seleccionó la norma bruta del mes de agosto por ser el mes con mayor necesidad de aplicación de agua de riego, con $91.48 m^3/día$ y una dosis bruta de 16.1 mm. A partir de esto, se encontró el caudal continuo equivalente de 1.06 l/s y un caudal característico de 0.27 l/s/ha.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Definición de parámetros técnicos para el proyecto

Definición de métodos y caudales de riego

Para el trazado de la red secundaria para aplicación de agua de riego, se definió primero la tipología de los emisores recomendando la utilización de:

- Aspersor tipo 1 con diámetro de alcance entre 13 m y 15 m, presión entre 7 y 25 mca y caudal entre 0.14 y 0.26 l/s.
- Aspersor tipo 2 con diámetro de alcance de entre 10 m y 12 m, presión entre 11 y 28 mca y caudal entre 0.06 y 0.1 l/s.
- Cinta de goteo autocompensada con espaciamiento de 20 cm y presión entre

3 y 7 mca y caudal entre 0.56 y 0.87 l/hora por gotero.

Con base a la tipología del emisor se seleccionaron los diferentes espaciamientos entre emisores, cuidando que haya un debido traslape para lograr una mayor uniformidad de aplicación. La ubicación de estos emisores con respecto a las áreas verdes se ilustra en la Figura 3.1 donde se muestra que el aspersor tipo 1 abarca un área de 45,8%, el de tipo 2 un 39,4% y para la aplicación por goteo un 14,8% con respecto al área total de riego.



Figura 3.1 Zonas donde se utilizarán los emisores tipo 1, tipo 2 y cinta de goteo.

A partir de lo anterior, se realizó el trazado de la red secundaria o red de aplicación en base a la ubicación y espaciamiento de los emisores, configuración geométrica de áreas y distancia desde la matriz como se muestra en la Figura 3.2.

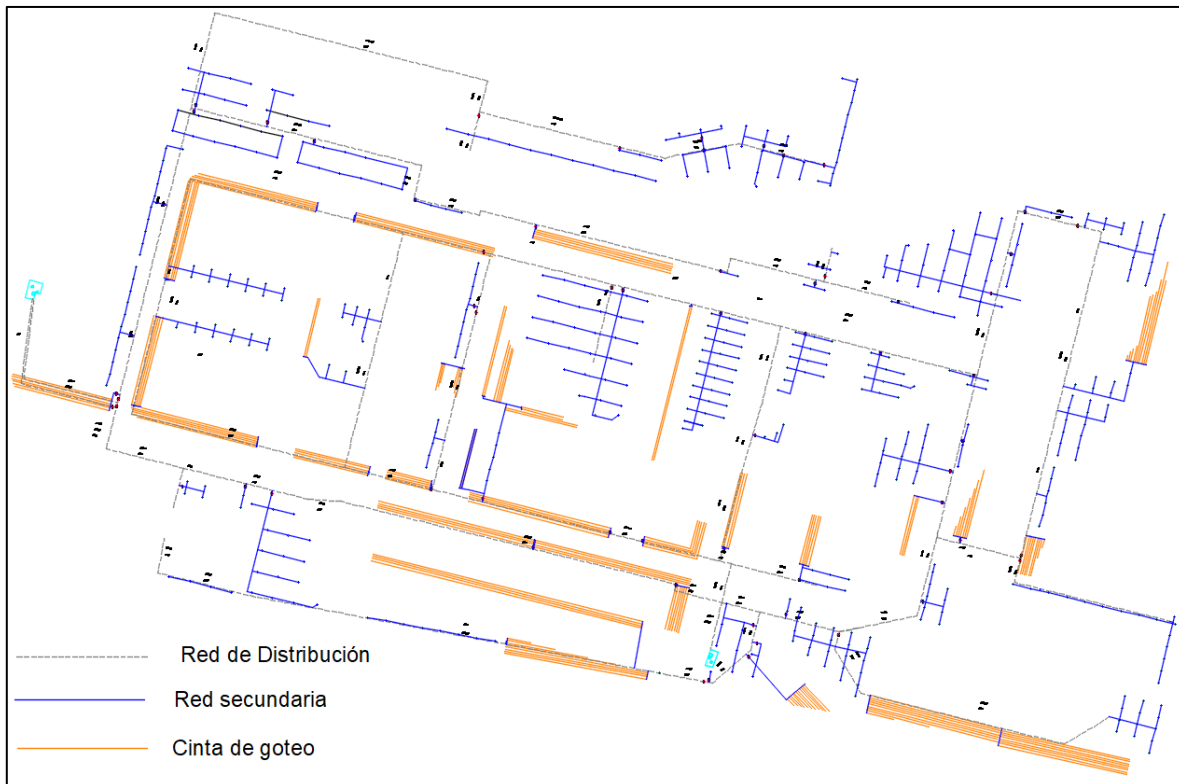


Figura 3.2 Trazado de red secundaria

Sectorización y organización para riego

El riego debe ser programado a través de sectores, para mejorar la eficiencia como para disminuir costos. Debido a que el sistema utilizará sistemas de impulsión, el caudal que entregará cada sistema de bombeo será lo más próximo a 5 l/s para entregar agua de riego a la mayor cantidad de superficie posible y para satisfacer el máximo caudal que se puede extraer del pozo de captación. El caudal de bombeo dependerá de factores como: área de riego, topografía, presión, tipo de emisor y cantidad de emisores.

Así, se establecieron 4 sectores de riego, cada uno con diferentes secciones. El sistema se modeló en función de las secciones y estas a su vez, se modelaron en función del caudal entregado a cada sección, es decir, cada sección está gobernada por el caudal entregado a esta, que es lo más cercana a 5 l/s y esta dependerá del número de emisores presentes en cada sección, en consecuencia, el



dimensionamiento hidráulico del sistema se estableció para que la presión en los emisores se encuentre entre 9 y 28 mca y que en base a estas, la suma de los caudales entregados por cada emisor, no sobrepase los 5 l/s en cada sección.

Cada sección se caracterizó por tener la misma tipología de aplicación, esto debido a que cada tipo de emisor entregará agua de riego con diferente intensidad, sin embargo, se consideró también, la combinación del aspersor tipo 2 con el sistema de goteo, puesto que el tiempo en el que se entrega la dosis de riego mediante el sistema de goteo (considerando la separación de las cintas de goteo de 0.8 m) se asemeja al tiempo del aspersor tipo 2. Cada sección se caracterizó también por poseer un rango de presiones que varían como máximo 3 mca.

Desde la cisterna oeste se distribuyó el agua de riego hacia el sector 1 y desde la cisterna sur se distribuyó el agua de riego hacia el sector 2, 3 y 4. Cada sector se regará diariamente con su día de turno correspondiente.

En base al área [m^2] de cada sección y a la dosis bruta de riego (16.10 mm) se obtuvo el volumen [m^3] de agua de riego que se entregará en cada sección. A partir de este y del caudal que se entregará en cada sección se encontró el tiempo de aplicación [min] de agua de riego para cada sección. El tiempo de riego se muestra a continuación en la tabla Tabla 3.1 para el sector 1 aplicado desde la cisterna oeste y en la Tabla 3.2 para el sector 2, 3 y 4 aplicado desde la cisterna sur.

En la Figura 3.3 se muestra las secciones del sector 1, mientras que en la Figura 3.4, Figura 3.5 y Figura 3.6 se muestra las secciones del sector 2, 3 y 4 respectivamente.

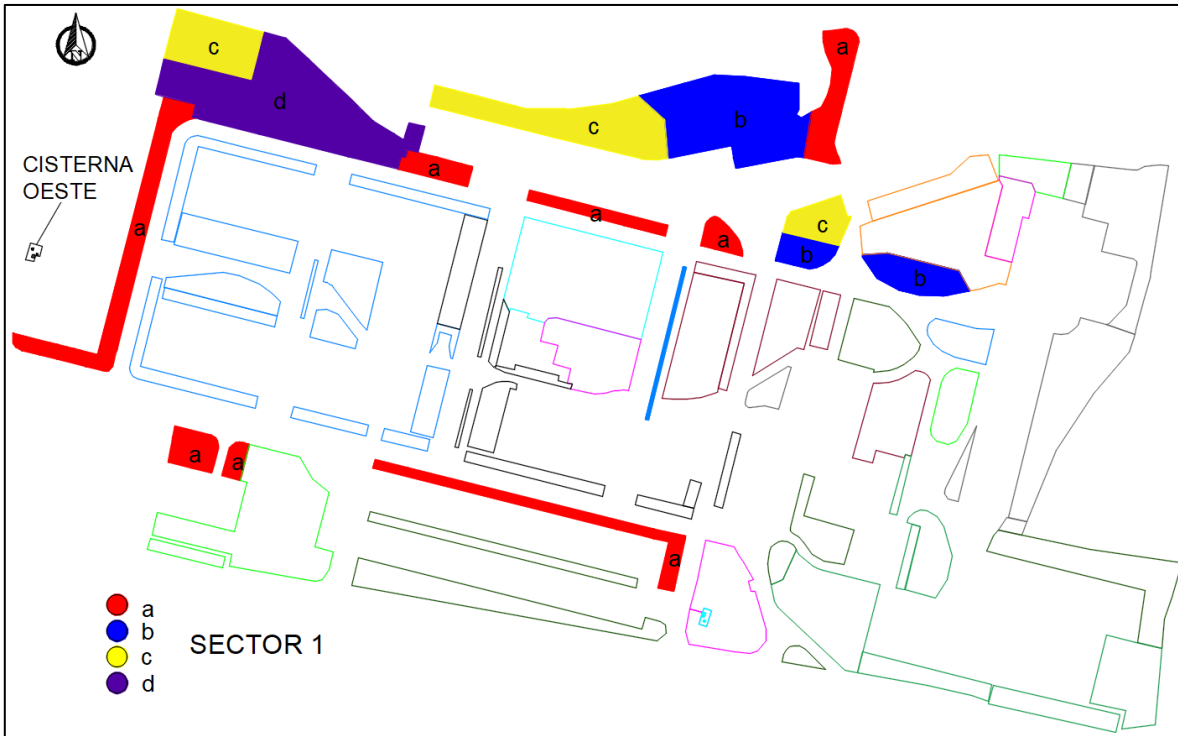


Figura 3.3 Secciones a ser regadas en el sector 1, desde la cisterna oeste.

Sector	Sección	Tipo de Aplicación	Dosis [mm]	Área [m ²]	Volumen [m ³]	Caudal [l/s]	Tiempo de riego [min]
1	a	Asp. Tipo 2-goteo	16.10	3381.83	54.43	4.47	203
	b	Asp. Tipo 1	16.10	2621.4	42.19	4.86	145
	c	Asp. Tipo 1	16.10	2463.51	39.65	4.73	140
	d	Asp. Tipo 1	16.10	2597.09	41.80	4.82	145
Total					178.08		633

Tabla 3.1 Tiempo de riego para cada sección aplicada desde la cisterna oeste.

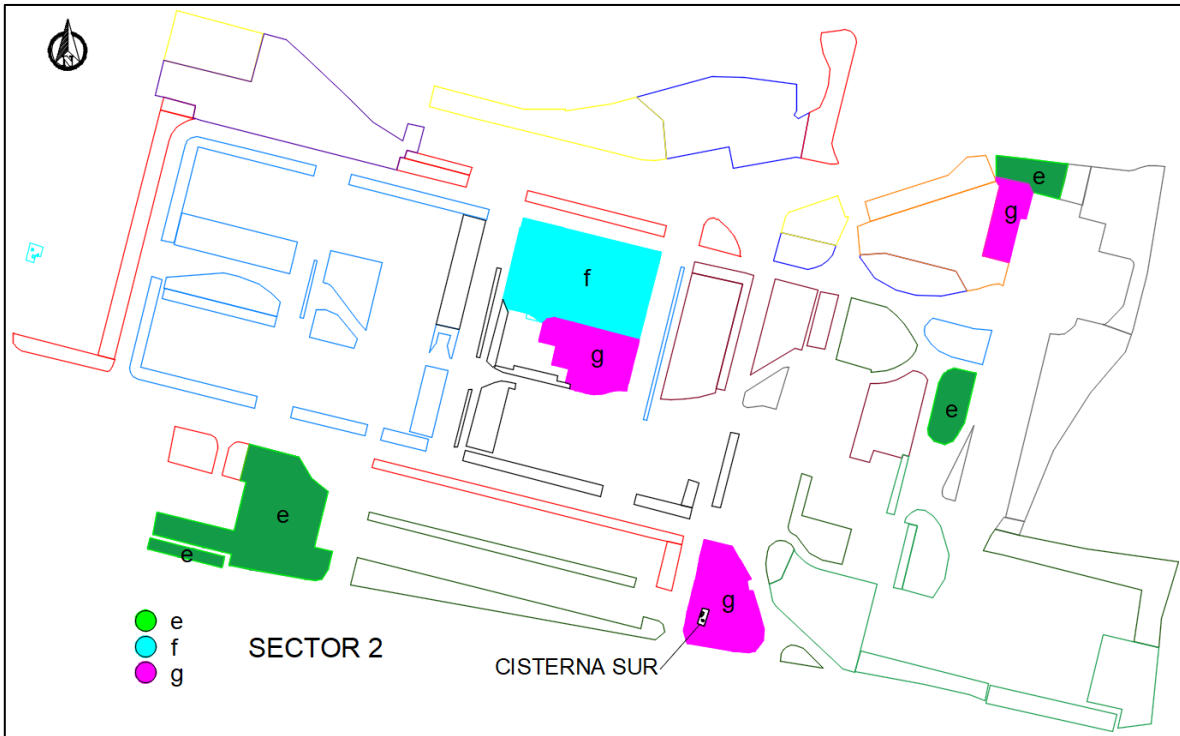


Figura 3.4 Secciones a ser regadas en el sector 2, desde la cisterna sur.

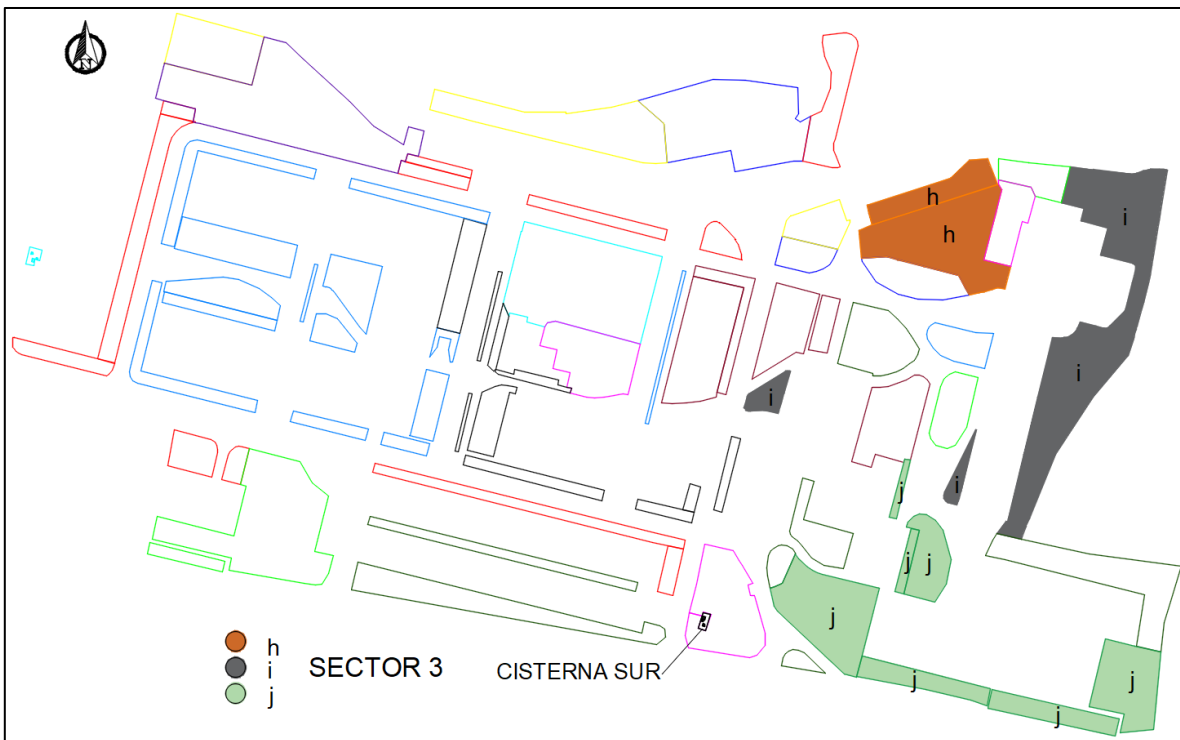


Figura 3.5 Secciones a ser regadas en el sector 3, desde la cisterna sur.



Figura 3.6 Secciones a ser regadas en el sector 4, desde la cisterna sur.

Sector	Sección	Tipo de Aplicación	Dosis [mm]	Área [m ²]	Volumen [m ³]	Caudal [l/s]	Tiempo de riego [min]	Turno
2	e	Asp. Tipo 1	16.10	2916.42	46.94	4.84	162	2do día de riego
	f	Asp. Tipo 1	16.10	2217.2	35.69	4.81	124	
	g	Asp. Tipo 1	16.10	2338.67	37.64	4.93	128	
	Total					120.27		
3	h	Asp. Tipo 1	16.10	2006.88	32.30	4.89	111	3er día de riego
	i	Asp. Tipo 2-goteo	16.10	3273.71	52.69	4.78	184	
	j	Asp. Tipo 2-goteo	16.10	3458.33	55.66	4.95	188	
	Total					140.66		
4	k	Asp. Tipo 2-goteo	16.10	3867.87	62.26	4.8	217	4to día de riego
	l	Asp. Tipo 2	16.10	2967.45	47.76	4.87	164	
	m	Asp. Tipo 2-goteo	16.10	4174.54	67.19	4.77	235	
	n	Asp. Tipo 2-goteo	16.10	1502.32	24.18	2.06	196	
	Total					201.39		

Tabla 3.2 Tiempo de riego para cada sección aplicada desde la cisterna sur.



3.2 Esquema hidrotécnico y dimensionamiento hidráulico del sistema

Para el modelamiento del sistema, se utilizó el software EPANET 2.0 (Rossman, 2001) en el cual se utilizó un conjunto de datos espaciales y mediante un análisis de escenarios se encontró el diseño óptimo a partir del trazado y ubicación de los aspersores, líneas de goteo y tuberías principales y secundarias. El material utilizado para la tubería fue el PVC tipo EC y el diámetro otorgado corresponde a factores como velocidad, pérdidas de energía, presión y caudal.

Para el dimensionamiento hidráulico, se consideró ubicar válvulas tipo bola en diferentes zonas del sistema para que cada sección funcione de manera independiente. De la misma manera, se ubicaron válvulas check, puesto que el flujo de la red principal recorre hacia cada sección y ciertos tramos necesitan consideraciones de una sola dirección de flujo.

Se optó por utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach para calcular la pérdida de carga longitudinal que experimenta un fluido a través de conductos cerrados, con un coeficiente de rugosidad $k=0.0015$ [mm]. Mientras que para la pérdida de carga localizada en accesorios se utilizaron factores en función del accesorio como se muestra en la Tabla 3.3.

Accesorio	K
Válvula check (totalmente abierta)	2
Válvula de bola (totalmente abierta)	10
Boquillas (emisores)	2.5
Codo a 90° de radio normal	0.75
Codo a 45° de radio normal	0.40
Tee sin reducción	0.6
Tee con reducción	0.9

Tabla 3.3 Factor k para accesorios utilizados en el proyecto (CONAGUA, 2002)

A cada uno de los emisores se le otorgó un valor de exponente y coeficiente de descarga en base a información de caudal vs presión brindada por los diferentes fabricantes. Con esta información el software Epanet 2.0 logró brindar el caudal



adecuado en base a la presión en el emisor, para de esta manera encontrar el caudal de aplicación para cada sector de riego.

El caudal de aplicación es cercano a 5 l/s para cada sector de riego, esto debido a la máxima capacidad del pozo de captación. Este caudal determinó el área de cada sector de riego, puesto que depende de la suma del caudal de cada emisor.

De esta manera se dimensionó el diámetro de toda la red secundaria o de aplicación, cuidando de que el caudal, presión y velocidades sean las óptimas, así el trazado de la red de tuberías se muestra en el Anexo 6.6.1 y el detalle de la ubicación de los diferentes accesorios se muestra en el Anexo 6.6.2. En cuanto a las características de la tubería principal obtenidas mediante el software Epanet 2.0 se muestran en el Anexo 6.7.

Sistema de impulsión.

Se planteó distribuir el sistema de riego mediante tres sistemas de impulsión que se explican gráficamente en la Figura 3.7.

- **Bomba 1** (instalada en el pozo de captación) que extrae el agua subterránea desde el pozo de captación hacia la cisterna sur.
- **Bomba 2** (instalada en la cisterna sur) que extrae el agua desde la cisterna sur y la lleva hacia la cisterna oeste y hacia los sectores 2, 3 y 4.
- **Bomba 3** (instalada en la cisterna oeste) que capta el agua desde la cisterna oeste hacia el sector 1.

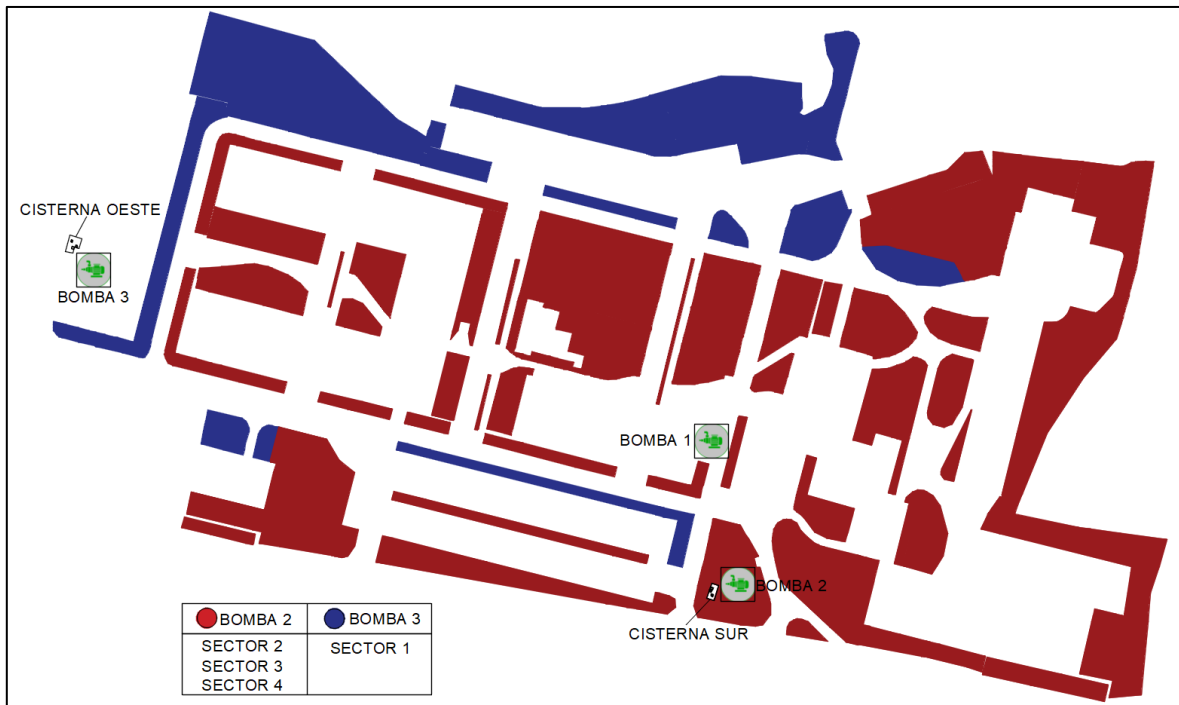


Figura 3.7 Ubicación de sistema de impulsión.

Para la adquisición de bombas y su óptimo funcionamiento con los valores de presión y caudal establecidos en el presente proyecto, se encontraron las curvas resistentes del sistema, que proporcionan la información necesaria de la altura geométrica incluido las pérdidas en el sistema, para distintos valores de caudal, en donde la intersección de la curva característica de la bomba a ser adquirida con la curva resistente, serán los valores de caudal determinados para todo el sistema.

Se determinó la curva resistente de cada uno de los sistemas de bombeo, a través del software Epanet 2.0 (Rossman, 2001) es decir, la representación de la variación del caudal en función de la altura manométrica de cada sistema de bombeo para los diferentes sectores de riego con sus respectivas pérdidas como se puede ver en la Figura 3.8, Figura 3.9 y Figura 3.10, mismas que representan el caudal otorgado en función de la presión.

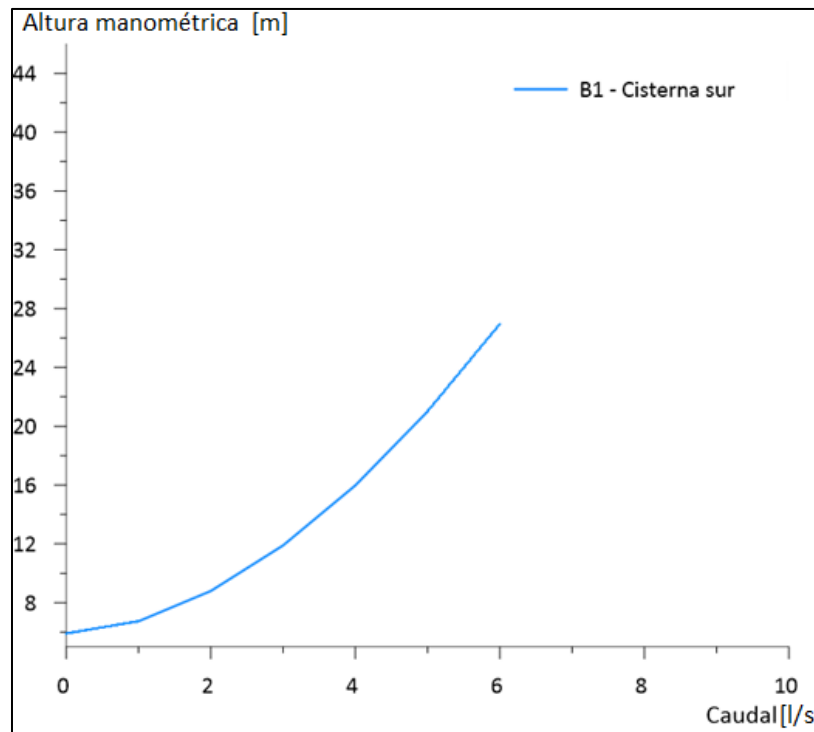


Figura 3.8 Curva resistente de instalación para el sistema de bombeo 1

En la Figura 3.8 se observa una sola curva resistente, puesto que solo intervendrá la tubería que lleva el agua desde el pozo de captación hacia la cisterna sur. Mientras que en la Figura 3.9 y Figura 3.10 intervienen todas las zonas de riego.

En la Figura 3.9 se observa que intervienen las secciones e - n, incluida la cisterna oeste y todas las curvas resistentes convergen en alrededor de 4.9 l/s a una presión de 22 mca. y una curva aislada cerca de 2l/s.

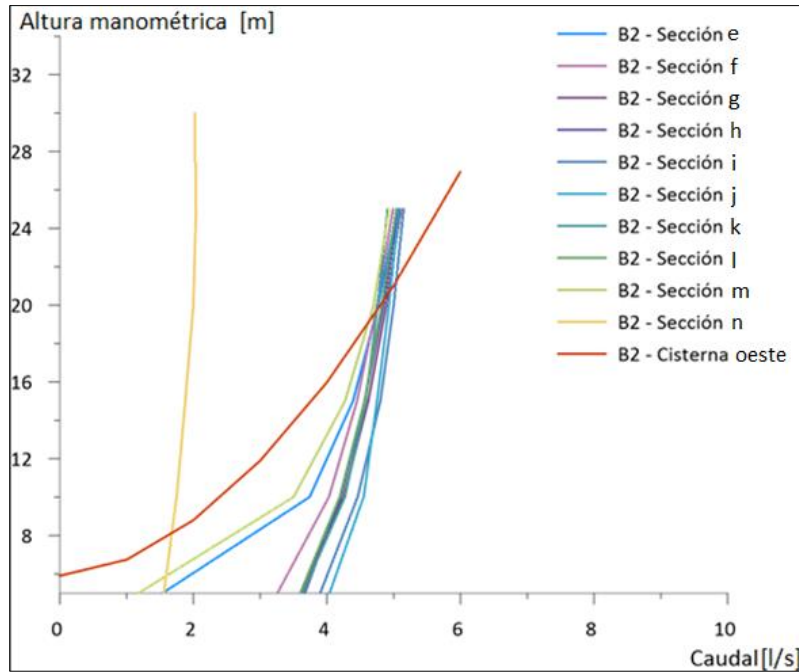


Figura 3.9 Curva resistente de instalación para el sistema de bombeo 2

En tanto en la Figura 3.10 se observa que que intervienen las secciones a – d y todas las curvas convergen en alrededor de 4.8 l/s para una presión de 14 mca. En base a esta información se buscará la bomba adecuada.

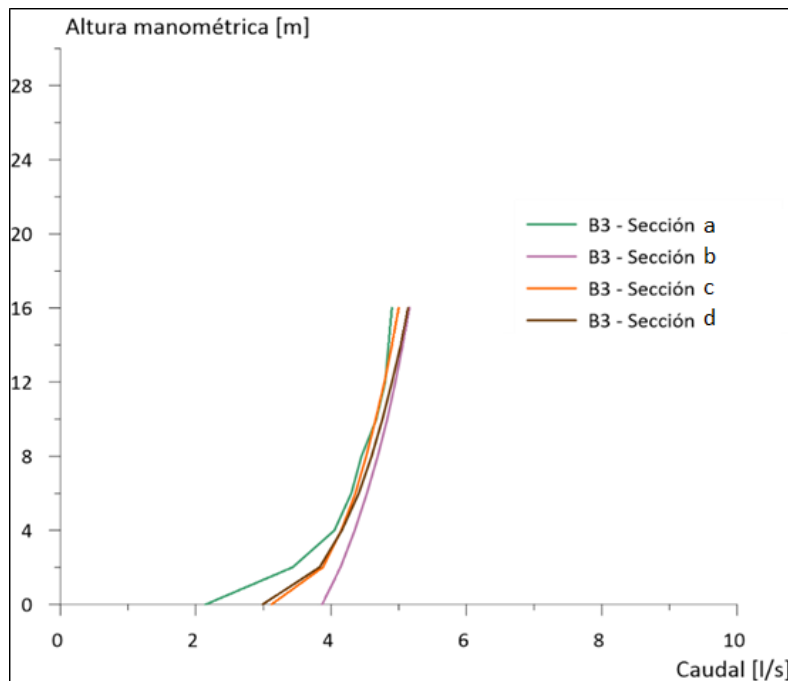


Figura 3.10 Curva resistente de instalación para el sistema de bombeo 3



El cálculo de la potencia requerida en cada sistema de bombeo se presenta en la Tabla 3.4 con los datos obtenidos de las curvas resistentes, obteniendo 3 diferentes potencias.

Sistema de Bombeo	Caudal [l/s]	Altura manométrica [m]	Eficiencia	Potencia [HP]
1	5.00	21.01	0.75	1.85
2	5.00	22.80	0.75	2.01
3	5.00	14.60	0.75	1.29

Tabla 3.4 Cálculo de potencia requerida

Los sistemas de bombeo estarán compuestos por dos bombas cada uno para asegurar el funcionamiento continuo del sistema de riego. Los equipos de bombeo colocados en las cisternas corresponden a bombas centrífugas horizontales, mientras que el equipo de bombeo requerido para la captación del agua subterránea serán bombas sumergibles. La potencia de las bombas debe ser igual o mayor a la obtenida en la Tabla 3.4.

Con la finalidad de determinar el funcionamiento completo del sistema de riego se seleccionaron las bombas, cuyas curvas características se presentan en la Figura 3.11, Figura 3.12 y Figura 3.13. mismas que fueron obtenidas de los fabricantes y que al intersecar con las curvas resistentes nos indica el caudal y presión de funcionamiento, observando que las bombas escogidas se adaptan a las configuraciones de presión y caudal establecidas.

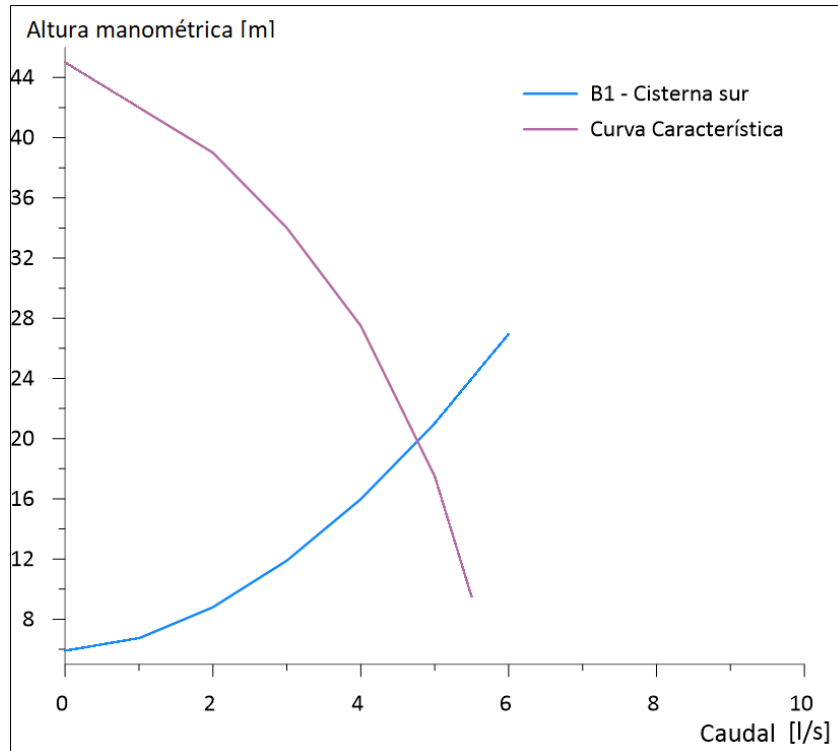


Figura 3.11 Curva característica Bomba 1- Curva resistente

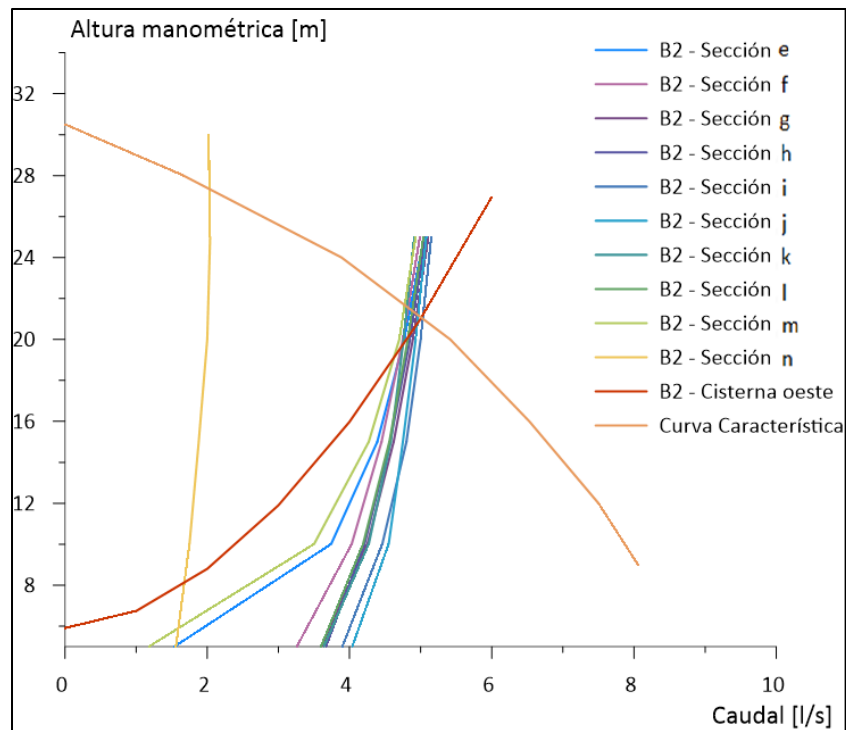


Figura 3.12 Curva característica Bomba 2- Curvas resistentes

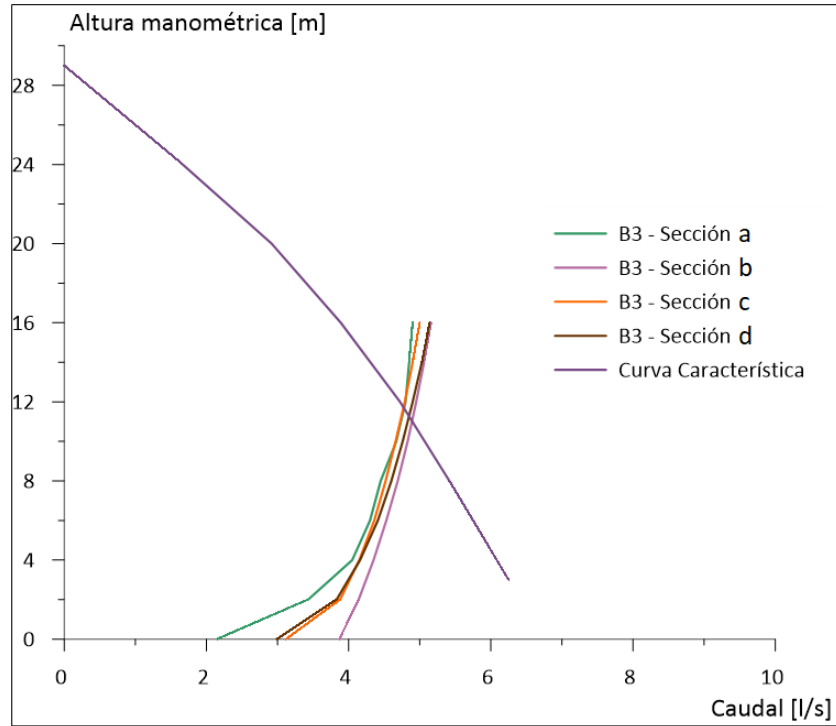


Figura 3.13 Curvas resistentes - Curva característica Bomba 3

Cisternas

De acuerdo a los volúmenes y tiempo obtenidos en la Tabla 3.1 y Tabla 3.2 se realizó la configuración llenado y vaciado de las cisternas mediante el sistema de bombeo como se indica en la Tabla 3.5 y Tabla 3.6 para el día 1 en donde:

Bomba 1		Bomba 2		Cisterna sur		
T parcial [min]	T acumulado [min]	T parcial [min]	T acumulado [min]	V entrada [m ³]	V salida [m ³]	V cisterna [m ³]
0	0	0	0			7.20
615	615	586	586	176.78	176.78	7.20

Tabla 3.5 Configuración de llenado y vaciado de cisterna sur – Día 1

Sección	Bomba 2		Bomba 3		Cisterna oeste		
	T parcial [min]	T acumulado [min]	T parcial [min]	T acumulado [min]	V entrada [m ³]	V salida [m ³]	V cisterna [m ³]
	0	0	0	0			12.00
a	203	203	203	203	61.22	54.43	18.79
b	145	348	145	348	43.65	42.19	20.25



c	140	487	140	487	42.15	39.65	22.75
d	103	590	145	632	31.06	41.80	12.00

Tabla 3.6 Configuración de llenado y vaciado de cisterna oeste – Día 1 – Sector 1

Como se puede ver en las tablas anteriores, el día 1, la bomba 1 estará encendida durante 615 minutos o 10.25 horas, la bomba 2 estará encendida durante 586 minutos o 9.76 horas y la bomba 3 estará encendida durante 632 minutos o 10.53 horas.

Los tres días siguientes se llevará a cabo el riego de las zonas alimentadas por la cisterna sur, suministrando agua desde el pozo de perforación hacia la cisterna sur, y finalmente desde esta hacia los emisores correspondientes. El cálculo realizado para determinar la configuración llenado y vaciado de las cisternas para el día 2, 3 y 4 se muestra en Tabla 3.7, Tabla 3.8 y Tabla 3.9 respectivamente.

Sección	Bomba 1		Bomba 2		Cisterna sur		
	T parcial [min]	T acumulado [min]	T parcial [min]	T acumulado [min]	V entrada [m³]	V salida [m³]	V cisterna [m³]
		0	0	0			7.20
e	162	162	162	162	46.47	46.94	6.73
f	124	285	124	285	35.55	35.69	6.60
g	133	418	127	413	38.25	37.64	7.20

Tabla 3.7 Configuración de llenado y vaciado de cisterna sur – Día 2 – Sector 2

El día 2, la bomba 1 estará encendida durante 418 minutos o 6.96 horas y la bomba 2 estará encendida durante 413 minutos o 6.88 horas.

Sección	Bomba 1		Bomba 2		Cisterna sur		
	T parcial [min]	T acumulado [min]	T parcial [min]	T acumulado [min]	V entrada [m³]	V salida [m³]	V cisterna [m³]
		0	0	0			7.20
h	110	110	110	110	31.65	32.30	6.55
i	184	294	184	294	52.82	52.69	6.68
j	195	489	187	481	56.19	55.66	7.20



Tabla 3.8 Configuración de llenado y vaciado de cisterna sur – Día 3 – Sector 3

El día 3, la bomba 1 estará encendida durante 489 minutos o 8.15 horas y la bomba 2 estará encendida durante 481 minutos o 8.01 horas.

Sección	Bomba 1		Bomba 2		Cisterna sur		
	T parcial [min]	T acumulado [min]	T parcial [min]	T acumulado [min]	V entrada [m³]	V salida [m³]	V cisterna [m³]
		0	0	0			7.20
k	216	216	216	216	62.15	62.26	7.09
l	163	380	163	380	46.99	47.76	6.32
m	235	614	235	614	67.50	67.19	6.63
n	86	700	196	810	24.75	24.18	7.20

Tabla 3.9 Configuración de llenado y vaciado de cisterna sur – Día 4 – Sector 4

El día 4, la bomba 1 estará encendida durante 700 minutos u 11.66 horas y la bomba 2 estará encendida durante 810 minutos o 13.5 horas.

3.3 Diseño de otros componentes / obras anexas

Manejo del sistema

Para que todo el sistema funcione de manera adecuada y cada sección de manera independiente, en la Tabla 3.10, se muestra el número de válvula y el instante de su funcionamiento para cada programa establecido.

Válvulas (Estado: abierto)	Sección	Tiempo de riego [min]	Día
v4, v5, v6, v7, v3, v8, v9, v10, v11, v12, v13, v14, v3	a	203	1
v15, v62, v64, v16, v17, v63, v3	b	145	
v18, v19, v20, v21	c	140	
v22, v23, v24	d	145	
v1, v25, v65, v26, v27	e	162	2
v65, v66, v28	f	124	
v65, v29, v30, v31, v32, v33, v66	g	127	
v65, v34, v66, v65	h	110	3
v35, v36, v37, v38, v66, v65	i	184	



v39, v40, v41, v66, v65	j	187	4
v42, v43, v44, v45, v46, v47, v66, v65	k	216	
v48, v49, v50, v66, v65	l	163	
v51, v52, v53, v54, v55, v66, v65	m	235	
v56, v57, v58, v59, v60, v66, v65	n	196	

Tabla 3.10 Instante de apertura de válvulas en función del programa.

Materiales y equipamiento

La cantidad de cada uno de los materiales a implementar en este proyecto se detallan a continuación en la Tabla 3.11.

Descripción	Cantidad	Unidad
Codo 45° PVC E/C 25 mm	3	U
Codo 45° PVC E/C 40 mm	4	U
Codo 90° PVC E/C 20 mm	82	U
Codo 90° PVC E/C 25 mm	31	U
Codo 90° PVC E/C 32 mm	23	U
Codo 90° PVC E/C 40 mm	54	U
Codo 90° PVC E/C 90 mm	3	U
Tee PVC E/C 20 mm	139	U
Tee PVC E/C 25 mm	90	U
Tee PVC E/C 32 mm	12	U
Tee PVC E/C 40 mm	157	U
Tee PVC E/C 63 mm	2	U
Tee PVC E/C 90 mm	1	U
Válvula de bola 20 mm	15	U
Válvula de bola 25 mm	11	U
Válvula de bola 32 mm	4	U
Válvula de bola 40 mm	19	U
Válvula de bola 63 mm	12	U
Válvula de bola 90 mm	5	U
Reductor largo PVC E/C 25 a 20 mm	2	U
Reductor buje PVC E/C 32 a 25 mm	2	U
Reductor largo PVC E/C 40 a 25 mm	40	U
Reductor largo PVC E/C 40 a 32 mm	4	U
Reductor largo PVC E/C 63 a 25 mm	7	U
Reductor largo PVC E/C 63 a 32 mm	2	U
Reductor largo PVC E/C 63 a 40 mm	20	U



Collar derivación (con refuerzo) 90 mm x 1"	3	U
Tee reductora PVC E/C 25 a 20 mm	3	U
Tee reductora PVC E/C 40 a 20 mm	6	U
Tee reductora PVC E/C 40 a 25 mm	2	U
Tee reductora PVC E/C 63 a 20 mm	34	U
Tee reductora PVC E/C 63 a 25 mm	12	U
Tee reductora PVC E/C 63 a 32 mm	1	U
Tee reductora PVC E/C 63 a 40 mm	19	U
Tee reductora PVC E/C 90 a 63 mm	6	U
Tee reductora PVC E/C 110 a 63 mm	4	U
Válvula check 25 mm	1	U
Válvula check 40 mm	1	U
Válvula check 63 mm	3	U
Válvula check 90 mm	1	U
Tubo PVC E/C 20 mm 2 Mpa	75	U
Tubo PVC E/C 25 mm 1.25 Mpa	248	U
Tubo PVC E/C 40 mm 1 Mpa	276	U
Bomba 1.85 HP	2	U
Bomba 2.01 HP	2	U
Bomba 1.29 HP	2	U
Aspersor Tipo 1	174	U
Aspersor Tipo 2	303	U
Cinta de goteo autocompensada 200 micrones rollo 2286 m -16 psi - 0.2 m de espaciamento	3	rollo
Conector con caucho de PVC a cinta de riego	178	U
Unión Soldable E/C 20mm	15	U
Unión Soldable E/C 25mm	40	U
Unión Soldable E/C 32mm	6	U
Unión Soldable E/C 40mm	51	U
Adaptador ASTM-ISO E/C 1" a 32 mm	3	U
Cruz E/C 25 mm	17	U
Cruz E/C 32 mm	3	U
Cruz E/C 40 mm	35	U
Cruz E/C 63 mm	9	U

Tabla 3.11 Materiales y equipamiento a utilizar en el proyecto



4. Conclusiones

En este estudio se plantea un diseño tecnificado para la distribución y aplicación de agua de riego en el Eco campus Balzay de la Universidad de Cuenca.

Se ha caracterizado la zona de intervención, identificando la infraestructura existente, y realizando un análisis de los aspectos biofísicos de interés para una correcta determinación de necesidades de agua, a fin de identificar infraestructura complementaria a requerirse, así como los sistemas y tecnología para distribución de agua.

Se identificó que la red de distribución o tubería principal, se encuentra instalada en el campus a 40 cm bajo la superficie y cuyo material es tubería de PVC tipo EC con diámetros que varían entre 63, 90 y 110 mm.

Se comprobó que, en la zona sur y oeste del campus, se encuentran construidas dos cisternas con capacidad de 18 y 30 m³ respectivamente, mismas que se encuentran a 1.8m por debajo de la superficie.

Para el sistema se ha previsto el aprovechamiento de agua del subsuelo mediante un pozo instalado junto al Aulario 1, el cual permitirá captar agua desde el nivel freático. Mediante ensayos de bombeo realizados in situ, se ha establecido un caudal de explotación de 5 l/s.

Para establecer las necesidades de agua del proyecto, se ha revisado y analizado la información de la estación meteorológica y pluviométrica que se encuentra en el campus Balzay, la cual dispone de 7 años de registro para: precipitación, temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar.

Se calculó valores mensuales de evapotranspiración de referencia mediante el método de FAO Penman-Monteith, encontrándose valores desde 2.26 hasta 3.07 mm/día que corresponden a los meses de junio-julio y noviembre respectivamente,



habiéndose observado además que las condiciones de radiación más desfavorables son para el periodo de octubre a febrero.

Para determinar la evapotranspiración de cultivo se optó por utilizar coeficientes de cultivo recomendados por la literatura técnica para pastos y plantas ornamentales. De esta manera, para el caso de pasto se definió un coeficiente general de 0.95, mientras que para el caso de plantas ornamentales se definió el valor de 0.80. Se concluye además que, desde la perspectiva de necesidades de agua, es decir en consideración de los valores de evapotranspiración de cultivo que han sido calculados, las mayores necesidades se encuentran entre los meses de mayor radiación (octubre a febrero).

Para el estudio se determinó precipitación confiable con probabilidad de excedencia del 80% mediante la distribución Weibull, habiéndose obtenido valores entre 10 y 101 mm/mes que corresponden a los meses de agosto y marzo respectivamente. Notándose además que los meses de marzo y abril son los meses con mayor precipitación.

Mediante el método SCS-USDA se definió valores para la precipitación efectiva mensual, habiéndose obtenido 9.8 y 84.7 mm/mes que corresponden a los meses de agosto y marzo respectivamente. Es importante mencionar que en los meses de marzo y abril la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración de cultivo, por lo tanto, en estos meses no se prevé necesidad de agua de riego.

En términos de caudal continuo ficticio equivalente para el proyecto, se calculó un caudal característico de 0.28 l/s/ha, mismo que comparativamente con otros sistemas de riego, establece al proyecto por debajo de proyectos de riego con requerimientos medios. Esto se debe a las relaciones evapotranspiración de los cultivos y precipitación efectiva que han sido determinadas. De manera complementaria, considerando eficiencias de aplicación del 80% para aspersión y del 90% para goteo y una eficiencia de conducción de 95%, para suplir las



necesidades en la zona se ha establecido un caudal continuo equivalente de referencia de 1.06 l/s.

En consideración de la textura proyectada para los suelos, una vez que se implemente las áreas verdes, y tomando en cuenta las profundidades de riego, se ha estimado los parámetros técnicos relacionados con la capacidad de retención de los suelos. De esta manera, para un suelo clasificado texturalmente como franco arcilloso, se determinó como cantidad de crítica de agua realmente aprovechable (RAW) el valor de 24 mm, que corresponde a la combinación de los parámetros del suelo, factor de reducción y profundidad de raíces para césped.

Con la información generada, para el proyecto se realizó un estudio integral de las relaciones existentes entre necesidades de agua, aporte efectivo de precipitación, balance y capacidad de almacenamiento de agua en los suelos, y condiciones de manejo. De esta manera, se ha definido para efectos de diseño de los sistemas, una frecuencia de aplicación de 7 días y una dosis bruta de 16.1 mm.

Para el proyecto, se ha dimensionado una red de distribución secundaria que se enlaza a la tubería principal existente. En consideración de condiciones de manejo preestablecidas para el Eco campus, se ha definido la aplicación de agua de riego mediante sistemas de aspersión y goteo, mismos que serán abastecidos por un sistema de impulsión combinado proyectado para operar en 4 días semanales durante los periodos de riego.

Para el sistema mediante aspersión se utilizarán 174 aspersores tipo 1 con alcance entre 13 y 15 m cuya área abarca el 45,8% del total de área de riego y 303 aspersores tipo 2 con alcance entre 10 y 12 m con un área que abarca el 39,4% y para el sistema mediante goteo se utilizara 6265 m de cinta de goteo con espaciamiento de 20 cm ocupando un área del 14,8%.

En este sentido, se recomienda contar con un sistema de goteo autocompensante, puesto que limita el caudal mientras las presiones varían, añadiendo también que

Alex Adrian Arce Prieto



el sistema autocompensante tiene la ventaja de recorrer grandes distancias sin que la presión varíe significativamente y por lo tanto entregue un caudal constante a lo largo de toda la cinta de goteo.

Con relación a los aspectos de manejo y distribución, se estableció un cronograma de riego de 4 días para distribución y entrega de agua en sectores. Se definió para el proyecto 4 sectores de riego, divididos en secciones de aplicación (a-n), en donde cada sección será regada con un caudal de bombeo cercano a 5 l/s, mismo que es el caudal máximo de explotación del pozo de captación.

Debido a la configuración del sistema, el caudal de bombeo para cada sección varía entre 4.47 y 4.95 l/s para la sección (a) y para la sección (j) respectivamente y un caudal de 2.06 l/s para la sección (n). Y el tiempo de riego para cada sección varía entre 111 y 217 min para la sección (h) y sección (k) respectivamente.

En términos de dimensionamiento hidráulico, para la red principal o matriz instalada en el campus, se obtuvo velocidades de flujo entre 0.15 y 1.84 m/s. En donde las velocidades bajas pertenecen al sistema donde se encuentran ubicadas las cintas de goteo.

En cuanto a la red secundaria, se estimaron longitudes de separación entre emisores de 8.8 m para el aspersor tipo 1 y 5 m para el aspersor tipo 2 y separación de cinta de goteo de 0.8m, cuidando el debido traslape de aplicación de agua de riego para una buena uniformidad.

Se obtuvieron valores de velocidad entre 0.11 y 2.08 m/s con diámetros que varían entre 20, 25 y 40 mm, en donde se obtuvo una longitud de 435 m para tuberías con diámetro de 20 mm, 1439 m para 25 mm y 1606 m para 40 mm. En cuanto a presión de emisores, se obtuvieron valores que varían entre 10.2 y 22.3 mca.

En cuanto al sistema de impulsión, se dimensionó 3 sistemas de bombeo. La bomba 1 instalada en el pozo de captación aportara un caudal de 5 l/s y estará encendida



un tiempo máximo de 700 min el día 4, en tanto que la bomba 2 instalada en la cisterna sur aportara su caudal máximo de 4.95 l/s en el sector 3 sección (j), su caudal mínimo de 2.06 l/s en el sector 4 sección (n) y su tiempo de bombeo máximo será de 810 min el día 4. Mientras que, en la cisterna sur la bomba 3 aportará un caudal entre 4.47 y 4.86 l/s para la sección (a) y (b) respectivamente y tendrá un tiempo máximo de bombeo de 632 min.

Con relación a la cisternas sur y oeste, variarán su volumen en función del caudal de entrada, caudal de salida y tiempo de bombeo. En donde para la cisterna sur el volumen inicial y final de cada periodo será de 7.2 m³ y para la cisterna oeste el volumen inicial y final será de 12 m³. Cabe mencionar que el sistema podría bombearse directamente desde el pozo de captación sin la utilización de la cisterna sur, pudiendo utilizarse esta para otros fines como reservorio de agua para sistema contraincendios.

En cuanto al manejo del sistema, el mismo funcionará mediante válvulas de apertura y cierre que dependiendo de la sección de riego estarán abiertas entre 110 y 235 min para la sección (h) y (m) respectivamente. Estas válvulas a futuro podrán cambiarse por electroválvulas para que el sistema se pueda automatizar mediante programadores para riego automáticos.

Con este estudio se da una importante contribución al desarrollo de áreas verdes en el eco campus Balzay de la Universidad de Cuenca mediante el aporte artificial de agua a las plantas para satisfacer sus necesidades hídricas, mitigando los efectos negativos del proceso de la urbanización en donde se buscó optimizar el diseño del sistema de irrigación, así como los procesos de operación de los diferentes componentes.



5. Bibliografía

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO: Riego y Drenaje (FAO)*, (56).

Alvear, J., Valarezo, C., & Valarezo, L. (1999). *Manejo del agua en la cuenca y en la parcela*. Ecuador.

Carrazón, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. *Programa especial para la seguridad alimentaria (PESA), Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), Honduras*, 15-104.

CONAGUA. (2002). *Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario*. México: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación Gerencia de Distritos y Unidades de Riego.

FAO. (2012). ETO Calculator (Versión 3.2) [Borland DELPHI]. Roma: Land and Water Division of FAO.

FAO, FIDA, & Cooperación suiza en américa central. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe* (FAO). Santiago: FAO.



Pérez, D., Segovia, J., Cabrera, P., & Martins, M. (2018). USO DEL SUELO Y SU INFLUENCIA EN LA PRESIÓN Y DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9.

Pimienta, E., Robles, C., Carvajal, S., Muñoz, A., Martínez, C., & De León, S. (2012). *SERVICIOS AMBIENTALES DE LA VEGETACIÓN EN ECOSISTEMAS URBANOS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO*.

Rossman, L. (2001). *EPANET 2.0*. CINCINNATI, OH: United States Environmental Protection Agency.

Rubio García, J. R., & López Ruiz, M. J. (2015). *Agrojardinería y composiciones florales* (Vol. 1). Síntesis.

Smith, M. (1992). *CROPWAT- A computer program for irrigation planning and management*. Roma: FAO. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SO2005100017>

Swennenhuis, J., Smith, M., Muñoz, G., Van Haselma, G., & Maraux, F. (2009). *CROPWAT (Versión 8.0) [Visual Delphi 4.0]*. Roma: Unidad de Fomento y Gestión de las Aguas de la FAO.

UNESCO. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y cambio climático*. Paris: UNESCO. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372882_spa



Universidad de Cuenca

Universidad de Cuenca. (2021). ECO CAMPUS. Recuperado de ECO CAMPUS
website: <https://www.ucuenca.edu.ec/nosotros/campus/campus-balsay>



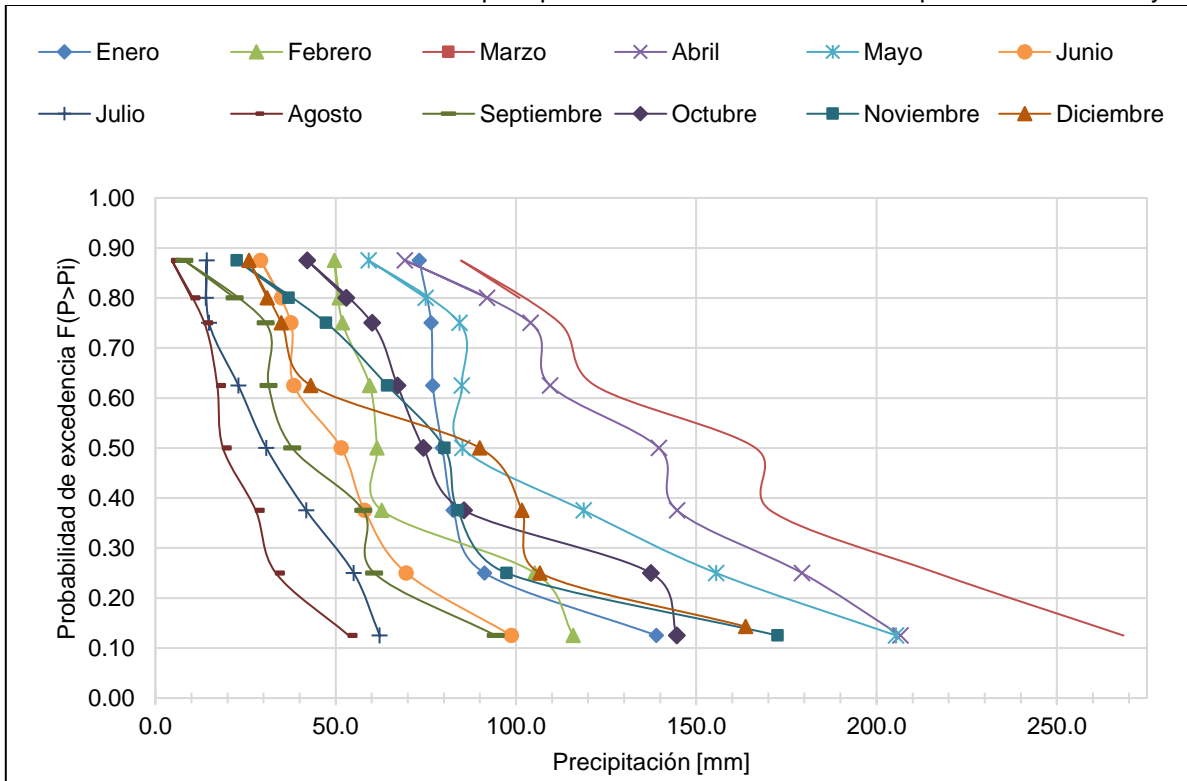
6.2 Precipitación

Anexo 6.2.1 Precipitación mensual [mm].

Mes	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	35.52	138.98	82.63	91.31	76.95	79.62	76.49	73.20444
Febrero	59.47	23.27	49.67	105.24	51.89	62.84	61.48	115.89134
Marzo	112.14	170.60	216.71	268.49	84.74	121.91	53.18	166.445788
Abril	144.77	109.47	206.68	139.65	104.12	69.23	179.30	
Mayo	205.46	59.13	84.98	118.84	155.57	85.15	84.42	
Junio	51.56	37.64	69.60	98.78	38.42	58.02	29.16	
Julio	41.87	55.01	23.03	14.25	14.90	30.79	62.21	
Agosto	4.57	17.15	13.59	33.41	27.84	18.75	53.62	
Septiembre	60.69	8.02	57.65	30.62	37.97	31.42	94.37	
Octubre	137.42	67.15	74.36	85.64	60.13	144.64	42.10	
Noviembre	80.18	83.85	64.35	22.61	172.61	97.40	47.40	
Diciembre	34.97	25.95	89.98	106.68	43.10	163.70	101.69	

6.3 Precipitación confiable

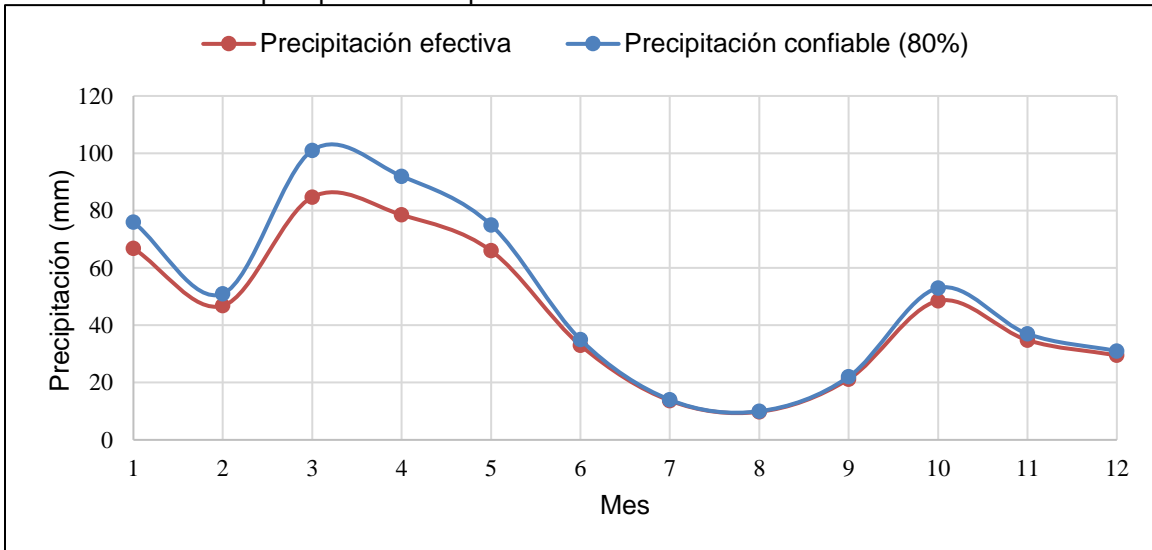
Anexo 6.3.1 Distribución Weibull de la precipitación mensual de la estación pluviométrica Balzay





6.4 Precipitación efectiva

Anexo 6.4.1 Comparación entre precipitación efectiva calculada mediante el método SCS-USDA y precipitación con probabilidad de excedencia del 80%.



6.5 Dosis bruta

Anexo 6.5.1 Dosis bruta para césped según aplicación de aspersión y goteo

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
lg [mm] (aspersión)	4.78	9.59	-	-	2.03	9.14	14.90	17.54	16.14	10.06	15.38	16.49
lg [mm] (goteo)	4.25	8.52	-	-	1.81	8.12	13.24	15.59	14.35	8.94	13.67	14.66

Anexo 6.5.2 Dosis bruta para plantas ornamentales según aplicación de aspersión y goteo

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
lg [mm] (aspersión)	1.05	5.76	-	-	-	6.18	11.93	14.33	12.62	6.31	11.35	12.57
lg [mm] (goteo)	0.93	5.12	-	-	-	5.49	10.61	12.74	11.21	5.61	10.09	11.18

Anexo 6.5.3 Dosis bruta para césped y plantas ornamentales.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
lg [mm] Césped	4.75	9.54	-	-	2.02	9.09	14.82	17.45	16.06	10.01	15.31	16.41
lg [mm] Ornamentales	1.01	5.56	-	-	-	5.95	11.51	13.82	12.16	6.08	10.94	12.12



6.6 Planos

Anexo 6.6.1 Plano de tuberías (Adjunto)
 Anexo 6.6.2 Plano de accesorios (Adjunto)

6.7 Características de tuberías de red principal en el instante de funcionamiento de los diferentes sectores calculados mediante el software EPANET 2.0.

Anexo 6.7.1 Características de tubería principal según secciones.

Sector 1, sección a									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p448	32.48	83	1.14	0.21	p579	35.21	58.2	0.34	0.13
p453	40	58.2	0.94	0.35	p592	13.67	58.2	0.73	0.27
p454	13.17	58.2	0.94	0.35	p593	80.36	58.2	0.73	0.27
p455	2.66	83	0.8	0.15	p594	0.5	58.2	0.44	0.17
p457	39.5	101.6	4.5	0.55	p616	1.439	58.2	0.97	0.37
p462	24.72	101.6	3.1	0.38	p620	26.8	58.2	0.45	0.17
p464	55	101.6	2.42	0.3	p621	21.45	58.2	0.45	0.17
p465	40.97	101.6	1.74	0.21	14	8.8	58.2	0.94	0.35
p467	1.16	83	0.8	0.15	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p472	59.07	83	0.94	0.17	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p473	18.87	83	0.94	0.17	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p498	4.037	58.2	0.94	0.35	94	3.39	101.6	3.36	0.41
p499	110.8	58.2	0.94	0.35	98	19.47	83	1.14	0.21
p507	8.8	58.2	0.94	0.35	320	26.47	58.2	0.86	0.32
p510	13.94	58.2	0.8	0.3	338	42.27	83	0.8	0.15
p511	0.5946	58.2	0.8	0.3	4	23.93	101.6	4.5	0.55
p512	26.94	58.2	0.48	0.18	390	7.62	58.2	0.94	0.35
p513	1.854	58.2	0.48	0.18	391	14.29	58.2	0.94	0.35
p514	23.49	58.2	0.48	0.18	402	15.36	58.2	0.94	0.35
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	403	10.27	58.2	0.94	0.35
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	439	21.99	83	0.8	0.15
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	447	29.08	83	0.8	0.15
p578	10.12	58.2	0.78	0.29					

Sector 1, sección b									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p453	40	58.2	3.59	1.35	p520	1.173	58.2	0.88	0.33
p454	13.17	58.2	3.59	1.35	p531	26.17	58.2	0.34	0.13

Alex Adrian Arce Prieto



p455	2.66	83	1.31	0.24	p541	53.61	58.2	0.47	0.18
p457	39.5	101.6	4.9	0.6	p542	14.67	58.2	0.47	0.18
p462	24.72	101.6	4.9	0.6	p578	10.12	58.2	0.78	0.29
p464	55	101.6	4.9	0.6	p579	35.21	58.2	0.34	0.13
p465	40.97	101.6	4.9	0.6	p616	1.439	58.2	0.97	0.37
p467	1.16	83	1.31	0.24	p620	26.8	58.2	0.45	0.17
p472	59.07	83	3.59	0.66	p621	21.45	58.2	0.45	0.17
p473	18.87	83	3.59	0.66	14	8.8	58.2	3.59	1.35
p498	4.037	58.2	3.59	1.35	273	27.96	58.2	0.88	0.33
p499	110.8	58.2	3.59	1.35	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p507	8.8	58.2	1.19	0.45	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p510	13.94	58.2	1.31	0.49	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p511	0.5946	58.2	1.31	0.49	94	3.39	101.6	4.9	0.6
p512	26.94	58.2	1.31	0.49	338	42.27	83	1.31	0.24
p513	1.854	58.2	1.31	0.49	4	23.93	101.6	4.9	0.6
p514	23.49	58.2	1.31	0.49	390	7.62	58.2	3.59	1.35
p515	77.63	58.2	1.31	0.49	391	14.29	58.2	1.87	0.7
p516	2.85	58.2	1.31	0.49	403	10.27	58.2	1.87	0.7
p517	5.855	58.2	1.31	0.49	439	21.99	83	1.31	0.24
p518	35.91	58.2	1.31	0.49	447	29.08	83	1.31	0.24
p519	3.25	58.2	0.88	0.33					

Sector 1, sección c									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p453	40	58.2	2.74	1.03	p518	35.91	58.2	0.67	0.25
p454	13.17	58.2	2.74	1.03	p519	3.25	58.2	0.67	0.25
p455	2.66	83	0.67	0.12	p522	5.457	58.2	0.67	0.25
p457	39.5	101.6	4.77	0.59	p531	26.17	58.2	0.34	0.13
p462	24.72	101.6	4.77	0.59	p541	53.61	58.2	0.47	0.18
p464	55	101.6	4.77	0.59	p542	14.67	58.2	0.47	0.18
p465	40.97	101.6	4.77	0.59	p578	10.12	58.2	0.78	0.29
p467	1.16	83	2.04	0.38	p579	35.21	58.2	0.34	0.13
p470	9.921	83	1.93	0.36	p616	1.439	58.2	0.97	0.37
p472	59.07	83	0.81	0.15	p620	26.8	58.2	0.45	0.17
p498	4.037	58.2	2.74	1.03	p621	21.45	58.2	0.45	0.17
p499	110.8	58.2	2.74	1.03	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p510	13.94	58.2	0.67	0.25	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p511	0.5946	58.2	0.67	0.25	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p512	26.94	58.2	0.67	0.25	94	3.39	101.6	4.77	0.59
p513	1.854	58.2	0.67	0.25	338	42.27	83	0.67	0.12
p514	23.49	58.2	0.67	0.25	4	23.93	101.6	4.77	0.59



p515	77.63	58.2	0.67	0.25	439	21.99	83	0.67	0.12
p516	2.85	58.2	0.67	0.25	447	29.08	83	0.67	0.12
p517	5.855	58.2	0.67	0.25					

Sector 1, sección d									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p457	39.5	101.6	4.86	0.6	p616	1.439	58.2	0.97	0.37
p462	24.72	101.6	4.86	0.6	p620	26.8	58.2	0.45	0.17
p464	55	101.6	4.86	0.6	p621	21.45	58.2	0.45	0.17
p465	40.97	101.6	4.86	0.6	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p467	1.16	83	4.86	0.9	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	94	3.39	101.6	4.86	0.6
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	4	23.93	101.6	4.86	0.6
p578	10.12	58.2	0.78	0.29	439	21.99	83	1.75	0.32
p579	35.21	58.2	0.34	0.13	447	29.08	83	2.81	0.52

Sector 2, sección e									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p492	6.14	83	1.45	0.27	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p495	1.93	83	1.45	0.27	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	316	22.96	83	1.45	0.27
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	96	26.75	83	1.45	0.27
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	139	16.15	83	1.45	0.27
p563	13.22	58.2	1.45	0.55	140	10.56	83	1.45	0.27
p564	13.25	58.2	1.45	0.55	p875	7.36	58.2	3.39	1.27
p565	12.48	58.2	1.45	0.55	330	8.81	58.2	2.88	1.08
p573	2.87	58.2	0.73	0.27	335	8.81	58.2	2.36	0.89
p578	10.12	58.2	0.78	0.29	336	8.82	58.2	1.85	0.7
p579	35.21	58.2	0.34	0.13	337	8.81	58.2	1.34	0.5
p616	1.439	58.2	0.97	0.37	339	1.41	58.2	0.66	0.25
p620	26.8	58.2	0.45	0.17	379	15.05	58.2	3.39	1.27
p621	21.45	58.2	0.45	0.17	385	32.29	58.2	0.66	0.25
138	20.09	101.6	4.84	0.6	589	17.61	58.2	0.73	0.27
313	20	58.2	3.39	1.27	590	17.76	58.2	0.73	0.27
100	24.53	83	1.45	0.27	481	33.87	58.2	0.73	0.27
101	7.92	58.2	1.45	0.55	596	27.32	58.2	0.73	0.27
110	3.21	58.2	0.97	0.37	p97	3.06	101.6	4.84	0.6

Sector 2, sección f									
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--



ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p479	5.276	83	3.66	0.68	249	16.2	83	3.66	0.68
p480	29.15	83	3.66	0.68	253	4.98	83	3.66	0.68
p481	19	83	3.66	0.68	100	24.53	83	1.15	0.21
p492	6.14	83	1.15	0.21	101	7.92	58.2	1.15	0.43
p495	1.93	83	1.15	0.21	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	316	22.96	83	1.15	0.21
p551	10.29	58.2	1.15	0.43	89	45.58	83	3.66	0.68
p563	13.22	58.2	1.15	0.43	96	26.75	83	1.15	0.21
p564	13.25	58.2	1.15	0.43	139	16.15	83	1.15	0.21
p565	12.48	58.2	1.15	0.43	140	10.56	83	1.15	0.21
p578	10.12	58.2	0.78	0.29	298	3.19	58.2	4.81	1.81
p579	35.21	58.2	0.34	0.13	575	25.12	58.2	4.81	1.81
p616	1.439	58.2	0.97	0.37	577	31.75	58.2	1.15	0.43
p620	26.8	58.2	0.45	0.17	586	28.55	58.2	4.81	1.81
p621	21.45	58.2	0.45	0.17	587	4.68	58.2	4.81	1.81
p693	8.8	58.2	3.6	1.35	595	39.6	58.2	1.15	0.43
p694	8.8	58.2	2.39	0.9	596	27.32	58.2	1.15	0.43
p695	8.8	58.2	1.2	0.45	p97	3.06	101.6	4.81	0.59
138	20.09	101.6	4.81	0.59					

Sector 2, sección g

ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p479	5.276	83	2.1	0.39	253	4.98	83	2.1	0.39
p480	29.15	83	2.1	0.39	100	24.53	83	0.84	0.16
p481	19	83	2.1	0.39	101	7.92	58.2	0.84	0.32
p492	6.14	83	0.84	0.16	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p495	1.93	83	0.84	0.16	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	316	22.96	83	0.84	0.16
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	89	45.58	83	2.1	0.39
p563	13.22	58.2	0.84	0.32	96	26.75	83	0.84	0.16
p564	13.25	58.2	0.84	0.32	136	5.85	58.2	1.98	0.75
p565	12.48	58.2	0.84	0.32	139	16.15	83	2.83	0.52
p578	10.12	58.2	0.78	0.29	140	10.56	83	0.84	0.16
p579	35.21	58.2	0.34	0.13	575	25.12	58.2	1.91	0.72
p602	6.851	58.2	0.68	0.26	586	28.55	58.2	1.91	0.72
p616	1.439	58.2	0.97	0.37	589	17.61	58.2	1.03	0.39



p620	26.8	58.2	0.45	0.17	481	33.87	58.2	1.03	0.39
p621	21.45	58.2	0.45	0.17	596	27.32	58.2	0.84	0.32
138	20.09	101.6	4.93	0.61	p97	3.06	101.6	4.93	0.61
249	16.2	83	2.1	0.39					

Sector 3, sección h									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p479	5.276	83	2.4	0.44	249	16.2	83	2.4	0.44
p480	29.15	83	2.4	0.44	253	4.98	83	2.4	0.44
p481	19	83	2.4	0.44	100	24.53	83	2.49	0.46
p492	6.14	83	2.49	0.46	101	7.92	58.2	2.49	0.94
p495	1.93	83	2.49	0.46	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	316	22.96	83	2.49	0.46
p563	13.22	58.2	2.49	0.94	89	45.58	83	2.4	0.44
p564	13.25	58.2	2.49	0.94	96	26.75	83	2.49	0.46
p565	12.48	58.2	2.49	0.94	139	16.15	83	2.49	0.46
p578	10.12	58.2	0.78	0.29	140	10.56	83	2.49	0.46
p579	35.21	58.2	0.34	0.13	481	33.87	58.2	4.89	1.84
p616	1.439	58.2	0.97	0.37	592	0.94	58.2	2.4	0.9
p620	26.8	58.2	0.45	0.17	596	27.32	58.2	2.49	0.94
p621	21.45	58.2	0.45	0.17	p97	3.06	101.6	4.89	0.6
138	20.09	101.6	4.89	0.6					

Sector 3, sección i									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p479	5.276	83	1.76	0.32	138	20.09	101.6	4.78	0.59
p480	29.15	83	1.76	0.32	156	9.69	58.2	2.53	0.95
p481	19	83	1.76	0.32	157	25.57	58.2	2.4	0.9
p492	6.14	83	3.02	0.56	249	16.2	83	1.76	0.32
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	253	4.98	83	1.76	0.32
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	100	24.53	83	3.02	0.56
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	101	7.92	58.2	3.02	1.14
p563	13.22	58.2	0.49	0.18	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p564	13.25	58.2	0.49	0.19	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p565	12.48	58.2	0.49	0.19	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p573	2.87	58.2	2.02	0.76	316	22.96	83	3.02	0.56
p574	25.21	58.2	2.02	0.76	89	45.58	83	1.53	0.28
p575	7.183	58.2	1.5	0.56	96	26.75	83	3.02	0.56



p576	4.075	58.2	1.5	0.56	139	16.15	83	3.02	0.56
p577	60.86	58.2	0.31	0.11	140	10.56	83	3.02	0.56
p578	10.12	58.2	0.55	0.21	589	17.61	58.2	2.02	0.76
p579	35.21	58.2	1.75	0.66	590	17.76	58.2	2.02	0.76
p580	17.38	58.2	2.26	0.85	481	33.87	58.2	2.02	0.76
p581	9.777	58.2	2.4	0.9	592	0.94	58.2	1.53	0.58
p616	1.439	58.2	0.97	0.37	596	27.32	58.2	0.49	0.18
p620	26.8	58.2	0.45	0.17	p97	3.06	101.6	4.78	0.59
p621	21.45	58.2	0.45	0.17					

Sector 3, sección j									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p479	5.276	83	0.82	0.15	138	20.09	101.6	4.95	0.61
p480	29.15	83	0.82	0.15	249	16.2	83	0.82	0.15
p481	19	83	0.82	0.15	253	4.98	83	0.82	0.15
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	110	3.21	58.2	2.06	0.77
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	314	20.17	58.2	2.06	0.77
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	315	56.14	58.2	1.58	0.59
p578	10.12	58.2	0.78	0.29	316	22.96	83	4.14	0.76
p579	35.21	58.2	0.34	0.13	89	45.58	83	0.82	0.15
p615	6.052	58.2	4.01	1.51	139	16.15	83	4.14	0.76
p616	1.439	58.2	2.06	0.77	140	10.56	83	4.14	0.76
p620	26.8	58.2	1.1	0.42	592	0.94	58.2	0.82	0.31
p621	21.45	58.2	1.1	0.42	p97	3.06	101.6	4.95	0.61

Sector 4, sección k									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p479	5.276	83	1.03	0.19	p616	1.439	58.2	0.97	0.37
p480	29.15	83	1.03	0.19	p620	26.8	58.2	0.45	0.17
p481	19	83	1.03	0.19	p621	21.45	58.2	0.45	0.17
p492	6.14	83	1.37	0.25	138	20.09	101.6	4.8	0.59
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	156	9.69	58.2	1.38	0.52
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	157	25.57	58.2	1.38	0.52
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	271	28.58	58.2	0.57	0.21
p578	10.12	58.2	0.78	0.29	249	16.2	83	1.6	0.29
p579	35.21	58.2	0.34	0.13	253	4.98	83	1.03	0.19
p582	10.09	58.2	1.38	0.52	100	24.53	83	1.37	0.25
p583	10.8	58.2	1.38	0.52	101	7.92	58.2	1.37	0.52
p584	54.66	58.2	0.52	0.19	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p602	6.851	58.2	1.65	0.62	314	20.17	58.2	0.97	0.37



p603	3.451	58.2	1.65	0.62	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p604	2.186	58.2	1.65	0.62	316	22.96	83	1.37	0.25
p605	18.3	58.2	1.54	0.58	89	45.58	83	1.03	0.19
p606	1.665	58.2	1.54	0.58	96	26.75	83	1.37	0.25
p607	20.3	58.2	1.54	0.58	136	5.85	58.2	1.65	0.62
p608	4.83	58.2	1.46	0.55	139	16.15	83	3.2	0.59
p609	5.81	58.2	1.2	0.45	140	10.56	83	1.55	0.29
p610	53.35	58.2	0.75	0.28	p97	3.06	101.6	4.8	0.59
p611	3.75	58.2	0.63	0.24					

Sector 4, sección l									
ID tubería	longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p479	5.276	83	3.17	0.59	249	16.2	83	3.17	0.59
p480	29.15	83	3.17	0.59	253	4.98	83	3.17	0.59
p481	19	83	3.17	0.59	100	24.53	83	1.69	0.31
p492	6.14	83	1.69	0.31	101	7.92	58.2	1.69	0.64
p495	1.93	83	1.69	0.31	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	316	22.96	83	1.69	0.31
p563	13.22	58.2	0.55	0.21	89	45.58	83	3.17	0.59
p564	13.25	58.2	1.69	0.64	96	26.75	83	1.69	0.31
p565	12.48	58.2	1.69	0.64	139	16.15	83	1.69	0.31
p578	10.12	58.2	0.78	0.29	140	10.56	83	1.69	0.31
p579	35.21	58.2	0.34	0.13	575	25.12	58.2	2.43	0.91
p616	1.439	58.2	0.97	0.37	577	31.75	58.2	0.55	0.21
p620	26.8	58.2	0.45	0.17	595	39.6	58.2	0.55	0.21
p621	21.45	58.2	0.45	0.17	596	27.32	58.2	0.55	0.21
138	20.09	101.6	4.87	0.6	p97	3.06	101.6	4.87	0.6

Sector 4, sección m									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p479	5.276	83	3.49	0.64	253	4.98	83	3.49	0.64
p480	29.15	83	3.49	0.64	100	24.53	83	1.28	0.24
p481	19	83	3.49	0.64	101	7.92	58.2	1.28	0.48
p492	6.14	83	1.28	0.24	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p495	1.93	83	1.28	0.24	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p532	10.24	58.2	0.92	0.34	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p533	36.53	58.2	1.23	0.46	316	22.96	83	1.28	0.24
p534	53.29	58.2	0.9	0.34	58	38.62	58.2	0.96	0.36



p537	37.87	58.2	0.7	0.26	82	33.4	58.2	0.32	0.12
p543	21.54	58.2	1.62	0.61	89	45.58	83	3.49	0.64
p544	36.87	58.2	2.58	0.97	96	26.75	83	1.28	0.24
p551	10.29	58.2	0.83	0.31	139	16.15	83	1.28	0.24
p563	13.22	58.2	1.28	0.48	140	10.56	83	1.28	0.24
p564	13.25	58.2	1.28	0.48	203	3.43	58.2	0.9	0.34
p565	12.48	58.2	1.28	0.48	232	36.42	58.2	1.02	0.38
p578	10.12	58.2	0.78	0.29	575	25.12	58.2	4.31	1.62
p579	35.21	58.2	0.34	0.13	577	31.75	58.2	0.83	0.31
p616	1.439	58.2	0.97	0.37	586	28.55	58.2	4.17	1.57
p620	26.8	58.2	0.45	0.17	587	4.68	58.2	4.17	1.57
p621	21.45	58.2	0.45	0.17	595	39.6	58.2	0.83	0.31
138	20.09	101.6	4.77	0.59	596	27.32	58.2	1.28	0.48
249	16.2	83	3.49	0.64	p97	3.06	101.6	4.77	0.59

Sector 4, sección n									
ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]	ID tubería	Longitud [m]	diámetro interior [mm]	caudal [l/s]	velocidad [m/s]
p478	2.174	83	1.23	0.23	p621	21.45	58.2	0.45	0.17
p479	5.276	83	0.57	0.11	138	20.09	101.6	2.06	0.25
p525	6.316	58.2	1.23	0.46	249	16.2	83	1.8	0.33
p526	24.02	58.2	1.23	0.46	253	4.98	83	1.8	0.33
p527	13.51	58.2	1.05	0.4	110	3.21	58.2	0.97	0.37
p531	26.17	58.2	0.34	0.13	314	20.17	58.2	0.97	0.37
p541	53.61	58.2	0.47	0.18	315	56.14	58.2	0.74	0.28
p542	14.67	58.2	0.47	0.18	575	25.12	58.2	0.69	0.26
p578	10.12	58.2	0.78	0.29	586	28.55	58.2	0.69	0.26
p579	35.21	58.2	0.34	0.13	587	4.68	58.2	0.69	0.26
p616	1.439	58.2	0.97	0.37	p97	3.06	101.6	2.06	0.25
p620	26.8	58.2	0.45	0.17					

Anexo 6.7.2 Plano de identificación de tuberías (Adjunto)