

**Tecnológico de Costa Rica
Vicerrectoría de Docencia
Escuela de Ingeniería Agrícola**

“Diseño del sistema de riego por goteo en 332 hectáreas bajo el cultivo de caña de azúcar para el Ingenio Pantaleón, en Escuintla, Guatemala”

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Ingeniería Agrícola del Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Carlos Carpio Carpio

Campus Cartago, Costa Rica.

2017

Diseño del sistema de riego por goteo en 332 hectáreas bajo el cultivo de caña de azúcar para
el Ingenio Pantaleón, en Escuintla, Guatemala

Carlos Carpio Carpio

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Ingeniería Agrícola
como requisito parcial para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Ing. Milton Solórzano Quintana. MBA

Asesor

Ing. Marvin Villalobos Araya. M.Sc

Lector-Director Escuela

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2017

DEDICATORIA

A mis amados padres María Elena Carpio Pérez y Carlos Carpio Maroto, quienes fueron mi principal motivación y apoyo en la realización de este trabajo y mis principales bastiones a lo largo de mi paso por el TEC.

A toda mi familia, Rocío y Ronald, Carmen y Mauricio, Lucía y Cristian, Viviana y River, Abigail y Kiara, quienes siempre han estado a mi lado apoyándome en el camino de mi formación como profesional.

A mis abuelos Delfín y Juan (que de Dios gocen), y a mis abuelas Irma y Carmen.

AGRADECIMIENTO

Agradecer primero a Dios todo poderoso y a la Virgen de los Ángeles por darme la fortaleza y la paciencia necesaria para poder finalizar la carrera de Ingeniería Agrícola y por guiar siempre mi camino.

A mis padres por todos los sacrificios que hicieron para poder brindarme la oportunidad de formarme como profesional, por ayudarme a nunca darme por vencido, y por inculcarme los valores que me hacen la persona que hoy soy, y por principalmente enseñarme que con la unión familiar no hay prueba que no pueda ser superada.

A mis hermanas y a toda mi familia por ayudarme y apoyarme en cada cosa que alguna vez necesite.

A todos los profesores y personal de la Escuela de Ingeniería Agrícola, por transmitirme los conocimientos necesarios para concluir esta etapa. Especialmente a mi tutor el Ing. Milton Solórzano Quintana, por tener siempre la disposición de ayudarme y por su compromiso en el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Marvin Villalobos Araya, por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera, y por brindarme sus consejos y apoyo en los momentos en los que en realidad necesité.

Al Ing. Gregory Guevara Rodríguez, por transmitirme sus conocimientos, por guiarme y apoyarme a lo largo de la realización de este proyecto.

A todo el personal de la empresa NETAFIM CENAM, especialmente al Departamento de Diseño: Iván, Pablo y Manolo, quienes siempre mostraron su interés y disposición en ayudarme, y en enseñarme lo necesario para finalizar el proyecto.

A mi hermano Fede, a todos los amigos de Ingeniería Agrícola, y a los compañeros que conocí a lo largo de mi paso por el TEC, ya que todos hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable.

A mis amigos y amigas de toda la vida, y a las personas que de alguna u otra manera me ayudaron de manera desinteresada en los momentos que los necesité.

Índice General

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1	Historia.....	5
2.2	El Cultivo de la Caña de Azúcar.....	5
2.3	Generalidades de la caña de azúcar.....	6
2.4	Sistemas de siembra.....	8
2.5	Sistemas de Riego.....	8
2.6	Sistema de riego por goteo.....	9
2.7	El bulbo de humedecimiento.....	10
2.8	Factores a considerar para el correcto diseño del sistema	11
2.9	Diseño Agronómico	12
2.9.1	Evaporación.....	12
2.9.2	Transpiración.....	12
2.9.3	Evapotranspiración.....	13
2.9.3.1	Método de Penman-Monteth.....	13
2.9.4	Coefficiente del Cultivo.....	14
2.10	Diseño Hidráulico.....	15
2.11	Válvulas Hidráulicas.....	16
2.12	Cabezal de Riego	17
2.12.1	Equipo de Bombeo	17
2.12.2	Fertirriego.....	18
2.12.3	Sistema de Filtrado	19
2.13	Mantenimiento del Sistema	23
2.14	Programas Computacionales Utilizados en el Proceso de Diseño.....	23
2.14.1	CLIMWAT	23
2.14.2	CROPWAT.....	24
2.14.3	AutoCAD.....	24
2.14.4	WaterCAD V8i.....	25
2.14.5	HydroCalc.....	25

2.15	Impacto Ambiental.....	26
2.16	Evaluación Financiera	26
3.	METODOLOGÍA.....	30
3.1	Generalidades	31
3.2	Datos Meteorológicos y Estudios básicos	32
3.2.1	Textura.....	36
3.2.2	Levantamiento Topográfico	37
3.3	Diseño Agronómico	37
3.4	Diseño Hidráulico.....	40
3.4.1	Diseño de las tuberías de goteo	40
3.4.2	Diseño de tubería secundaria y bloques de riego.....	40
3.4.3	Diseño de la tubería principal	43
3.4.4	Diseño de las válvulas reguladoras	44
3.5	Plan de Operación	44
3.6	Plan de Riego	45
3.7	Diseño del cuarto de riego (bomba, filtros).....	46
3.8	Caseta de fertirriego	46
3.9	Análisis Ambiental	47
3.10	Análisis Financiero.....	47
3.10.1	Análisis de ingresos (producto de la tecnología).....	48
3.10.2	Costos asociados a la implementación del proyecto (tecnología).....	49
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
4.1	Datos Meteorológicos y Estudios básicos	53
4.2	Diseño Agronómico	54
4.3	Planos	55
4.4	Diseño Hidráulico.....	65
4.4.1	Tubería Principal	65
4.4.2	Tubería Secundaria.....	67
4.4.3	Válvulas Reguladoras	68
4.5	Plan de operación	71
4.6	Curva característica de la bomba a emplear	74
4.7	Motor.....	74

4.8	 Materiales	75
4.8.1	 Válvulas.....	75
4.8.2	 Tuberías	75
4.8.3	 Accesorios.....	76
4.8.4	 Emisores.....	76
4.8.5	 Sistema de Filtrado	77
4.8.6	 Caseta de Fertirriego	77
4.9	 Análisis Ambiental	77
4.10	 Análisis Financiero.....	78
5.	 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
5.1	 Conclusiones	82
5.2	 Recomendaciones	83
6	 BIBLIOGRAFÍA	84
7	 ANEXOS.....	87

Índice de Cuadros

Cuadro 1	Clasificación Taxonómica de la Caña de Azúcar.....	7
Cuadro 2	Datos agrometeorológicos de las estaciones cercanas a Finca Puyumate	34
Cuadro 3	Resultados de estudios básicos de la Finca Puyumate	53
Cuadro 4	Resultados del diseño agronómico	54
Cuadro 5	Características topográficas Finca Puyumate	56
Cuadro 6	Plan de operación área 1.....	71
Cuadro 7	Plan de operación área 2.....	71
Cuadro 8	Plan general de Riego del proyecto	73
Cuadro 9	Valvulería del proyecto	75
Cuadro 10	Tubería necesaria para el proyecto	75
Cuadro 11	Listado general de accesorios del sistema	76
Cuadro 12	Total de tubería de goteo	76
Cuadro 13	Resultados Análisis Financiero	78
Cuadro 14	Análisis financiero proyectado proyecto de goteo en caña de azúcar Finca Puyumate	79
Cuadro 15	Plan operación Enero.....	100
Cuadro 16	Plan operación Febrero.....	100
Cuadro 17	Plan operación Marzo.....	101
Cuadro 18	Plan operación Abril.....	101
Cuadro 19	Plan operación Mayo.....	102
Cuadro 20	Plan operación Noviembre	102
Cuadro 21	Plan operación Diciembre	103

Índice de Figuras

Figura 1	Modalidad de siembra en doble surco	8
Figura 2	Comportamiento del bulbo de humedecimiento en distintas texturas	11
Figura 3	Rangos de Kc en distintas etapas de crecimiento para varios cultivos	15
Figura 4	Hidrociclón	20
Figura 5	Filtro de Grava o Arena	21
Figura 6	Filtro de Anillos	21
Figura 7	Filtro de malla.....	22
Figura 8	Ubicación Geográfica de la Finca Puyumate.....	31
Figura 9	Interfaz inicial programa CLIMWAT.....	32
Figura 10	Estaciones de Guatemala en el CLIMWAT	33
Figura 11	Datos generados en el CROPWAT para la estación Montufar.....	34
Figura 12	Mapa textural de suelos de la Zona Cañera de Guatemala	36
Figura 13	Interfaz del Hydro Calc	41
Figura 14	Interfaz de datos de entrada en Hydro Calc.....	42
Figura 15	Interfaz de datos de salida para la válvula 37	43
Figura 16	Plano de curvas de nivel Finca Puyumate	55
Figura 17	Comportamiento de las curvas de nivel en Finca Puyumate	56
Figura 18	Plano de desagüe presente en el terreno	57
Figura 19	Comportamiento del flujo de agua en Finca Puyumate	58
Figura 20	Sectorización de los turnos de riego	59
Figura 21	Propuesta de la distribución de bloques de riego.....	60
Figura 22	Turnos de riego propuestos.....	61
Figura 23	Área de riego para el bombeo 1	62
Figura 24	Área de riego para el bombeo 2.....	63
Figura 25	Distribución de Válvulas	64
Figura 26	Distribución de la Tubería Principal.....	66
Figura 27	Distribución de la Tubería Secundaria.....	67
Figura 28	Cuadro de presiones esperadas en las válvulas para el turno 1 en ambos bombeos	68
Figura 29	Cuadro de presiones esperadas en las válvulas para el turno 2 en ambos bombeos	69
Figura 30	Cuadro de presiones esperadas en las válvulas para el turno 3 en ambos bombeos	69
Figura 31	Cuadro de presiones esperadas en las válvulas para el turno 4 en ambos bombeos	70
Figura 32	Cuadro de presiones esperadas en las válvulas para el turno 5 en ambos bombeos	70
Figura 33	Plano general del sistema de riego en Finca Puyumate	72
Figura 34	Curva característica de la bomba B6EXQBM.....	74
Figura 35	Matriz Leopold proyecto Finca Puyumate.....	77
Figura 36	Velocidades en la tubería principal para el turno 1	95
Figura 37	Velocidades en la tubería principal para el turno 2	96
Figura 38	Velocidades en la tubería principal para el turno 3	97
Figura 39	Velocidades en la tubería principal para el turno 4	98
Figura 40	Velocidades en la tubería principal para el turno 5	99

Figura 41. Surcos de siembra en el campo.....	104
Figura 42 Vista general Finca Puyumate	105
Figura 43 Profundidad de instalación de la cinta de goteo	106

Resumen

Se presenta el diseño de riego por goteo realizado para caña de azúcar en las 332 ha de la Finca Puyumate en Escuintla, Guatemala. Se usaron programas computacionales para obtener los datos agrometeorológicos, se determinó una lámina de riego de 6 mm/día y un caudal del sistema de 272,72 m³/h-100ha. Se estableció que el riego se realice en dos bombeos, cada uno se dividió en 5 turnos. Se presenta el diseño hidráulico que mejor se adaptó a las condiciones del terreno. Se decidió utilizar cinta de goteo autocompensada con una distancia entre emisores de 0,40 m y una distancia entre líneas de goteo de 1,80 m. Se realizó el cuadro de operación de riego para cada mes del año y para cada época de crecimiento del cultivo. Y finalmente se realizó el análisis económico y ambiental.

Palabras Clave: Caña de Azúcar, Coeficiente del Cultivo, Evapotranspiración de Referencia, Riego por Goteo

Abstract

This document presents the irrigation design for sugar cane in the 332 ha of the Finca Puyumate in Escuintla, Guatemala. A computer programs were used to obtain the agrometeorological data, an irrigation sheet of 6 mm/day and a system flow of 272,72 m³/h-100ha were determined. It was established that the irrigation is done in two pumps, each divided into 5 shifts. The hydraulic design that best adapts to the terrain conditions is presented. It was decided to use self-compensating drip tape with a distance between emitters of 0.40 m and a separation between drip lines of 1.8 m. The irrigation operation table was made for each month of the year and for each growing season of the crop. And finally, the economic and environmental analysis was carried out

Keywords: Sugarcane, Crop Coefficient, Reference Evapotranspiration, Drip Irrigation

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas Guatemala se ha abierto un importante camino en el campo de la producción de caña de azúcar, llegando hasta el punto de posicionarse entre los principales productores a nivel mundial alcanzando a generar ochocientos sesenta y dos millones de dólares americanos en divisas en el año 2016. Esto demuestra la importancia económica que tiene el sector cañero para el país, y a su vez es indicador de que cada día se debe mejorar y optimizar todo el proceso productivo pensando no sólo en el cultivo en sí, sino también en los productos secundarios que se obtienen de la caña de azúcar como lo son el alcohol, la melaza, y la biomasa; este último en la actualidad ha tomado relevancia debido a su capacidad de ser usado como energía renovable, por lo que le aporta a la caña de azúcar un enorme valor agregado.

Debido a lo anterior, los ingenios del país deben buscar la manera de mejorar su proceso productivo para aumentar los rendimientos por hectárea de este cultivo, por lo que se están buscando nuevas tecnologías para lograr este objetivo. Tal es el caso del Ingenio Pantaleon, que está incursionando en el riego por goteo como forma eficaz para aumentar la productividad en el cultivo de la caña de azúcar.

El Ingenio Pantaleon nace el 8 de agosto de 1849, bajo la visión emprendedora de Manuel María Herrera al comprar la finca Pantaleon y San Gregorio, entre Siquinalá y Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. Luego en el año de 1870 Manuel María Herrera convierte la hacienda de 79 caballerías de tierra plana y 28 caballerías de tierra baldía en la finca Pantaleon, construyendo en parte del terreno el Ingenio Pantaleon. Ya para el año de 1880, Pantaleon producía 40.000 arrobas de azúcar. (Ingenio Pantaleon, 2017)

La capacidad de producción del Ingenio Pantaleon se muestra en las siguientes estadísticas:

- a) Capacidad de molienda diaria de 29.000 toneladas
- b) 45.000 hectáreas de producción
- c) Una producción de azúcar de 492.000 toneladas
- d) Una producción de alcohol de 74.000 m³
- e) Producción de melaza de 190.000 toneladas
- f) Producción energética de 258.300 MWh

El Ingenio Pantaleon se dio a la tarea de buscar ayuda para mejorar aún más estas cifras, invirtiendo en la implementación del riego por goteo, para esto se contactó con la empresa NETAFIM CENAM (para la cual se desarrolla este informe).

NETAFIM desde el año 1965 es líder en el mercado del riego por goteo a nivel mundial, desarrollando nuevas tecnologías que permiten una mayor calidad y mejor producción de los cultivos con un menor uso de los recursos naturales.

Los objetivos de este trabajo se presentan a continuación.

1.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de riego por goteo como herramienta para aumentar la productividad del cultivo de caña de azúcar en la Finca Puyumate ubicada en Escuintla, Guatemala.

1.2 Objetivos Específicos

1. Distribuir las secciones de riego debidamente integradas con las prácticas culturales de las áreas de siembra del cultivo de la caña.
2. Suministrar de manera eficiente el agua y fertilizante requeridos por el cultivo mediante riego por goteo.
3. Garantizar la adecuada operación del sistema de riego propuesto, mediante un plan debidamente establecido.
4. Realizar un análisis ambiental y económico del proyecto

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Historia

Se considera de la caña que su origen es de las islas Polinesia, y no ha faltado quien afirme que es de América, ya que se encontraba desde mucho antes de la llegada de Cristóbal Colón, por lo que se le atribuye haberla traído a éste continente, sin embargo existen pruebas evidentes de que en Guatemala existían cañas dulces, siendo cultivadas por los nativos que habitaron en las riberas de Ixcán y Lacantún (afluentes del Usumacinta), región localizada en Chiapas, norte de Huehuetenango, en el Quiché, y al sudeste de Petén; Otros opinan que su origen lo tuvo en la India, en la desembocadura de río Ganges, dando del nombre Guara a la región y a la ciudad el nombre de Gur que quiere decir azúcar. (Saenz, 2004)

2.2 El Cultivo de la Caña de Azúcar

La caña de azúcar es uno de los cultivos más importantes para las naciones de la región centroamericana, debido a que durante todo su proceso de producción, que va desde la siembra en el campo hasta su empaque en la industria, se generan múltiples beneficios para los países en los que esta se desarrolla. Específicamente para el caso de Guatemala, la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA) indica lo siguiente: “La agroindustria azucarera guatemalteca representa el 33 % del valor total de la exportación agrícola guatemalteca y 15 % de las exportaciones totales del País. Es el sector económico que más divisas genera a nuestro país. Durante el año 2016, el azúcar, melaza y alcohol produjeron un ingreso de US\$ 862 millones.” (ASAZGUA, 2017)

Lo anterior denota la importancia de idear cada día más técnicas que permitan mejorar los procesos de producción de la caña de azúcar, pero para iniciar a formular algo como esto, es fundamental conocer las características generales de este cultivo, la técnica de riego que más beneficie a la caña, y aspectos de diseño y planeación que mejor respondan al momento de la implementación.

2.3 Generalidades de la caña de azúcar

Las generalidades agroecológicas del cultivo se muestran a continuación:

- a) **Temperatura:** la temperatura, junto con la humedad, son dos de los factores que más relevancia tiene en la germinación, la temperatura óptima para éste proceso se ubica entre los 27°C y 35°C. En Guatemala la zona cañera ubicada en la planicie costera del océano Pacífico presenta temperaturas promedio anuales alrededor de 25°C, ésta varía en función de la altura sobre el nivel del mar.
- b) **Precipitación:** en promedio la caña requiere de 1.200 a 1.500 milímetros anuales, distribuidos de mejor manera durante el período vegetativo. En la zona cañera de Guatemala las precipitaciones oscilan desde los 1.500 hasta los 3.000 milímetros anuales.
- c) **Radiación Solar:** la caña de azúcar pertenece al grupo de plantas con sistema fotosintético C4, por lo cual es muy eficiente, dentro de la especie existen variedades más eficientes que otras, las longitudes de onda utilizadas son entre 400 y 700 nm. Es importante que durante todo el ciclo, la planta disponga de buena luminosidad.
- d) **Viento:** el viento aumenta la evapotranspiración, reduce el crecimiento, causa la ruptura de tallos inclusive puede arrancar las cepas desde la base, ocasiona que la caña se acame (postración) dificultando las labores de cosecha.
- e) **Requerimientos Edáficos:** es aconsejable que la textura sea franco arcilloso, franco arenoso o limoso, con buena estructura y capacidad de retención de humedad, pero a la vez friable, con un horizonte profundo, sin problemas de drenaje y salinidad, características que deben permanecer al menos en los primeros 50 cm del suelo donde se ubican la mayor cantidad de raíces. El nivel freático debe estar ubicado preferentemente a profundidades mayores de 75 cm, el pH debe oscilar entre 5,5 y 8,0.
- f) **Variedades de caña de azúcar cultivadas en Guatemala:** las más importantes en función del área cultivada son las siguientes: CP88-1165 (37,47%), CP72-2086, CP73-1574, CP72-1312, PGM89-968, CG96-135, CP88-1508 y MEX79-431. (Consuegra Orozco, 2014)

En el Cuadro 1, se indica la clasificación taxonómica de la caña de azúcar.

CUADRO 1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Angiospermae
Sub-clase	Monocotyledoneae
Súper Orden	Commelinidae
Familia	Poaceae
Género	Saccharum
Especie	officinarum L.

Fuente: (Díaz Montejó & Portocarrero Rivera, 2002)

La clasificación anterior no incluye la variedad de la caña, ya que cada productor utiliza la que mejor se ajuste a las características y métodos de producción que utilicen en cada ingenio. Según Salazar (2016), la variedad de la caña de azúcar que se siembre depende del tercio de cosecha con el que se trabaje en el ingenio, del tipo de suelo presente en el área de siembra, y de las condiciones climáticas de la zona. Es por esto que el mejoramiento genético es importante en la obtención de nuevas variedades más resistentes y que generen mejores índices de productividad.

El mejoramiento genético de las plantas tiene como objetivo modificar y aprovechar la variación genética con el propósito de obtener variedades que satisfagan las necesidades del hombre en circunstancias determinadas. El Programa de Variedades de CENGICAÑA realiza el mejoramiento genético de la caña de azúcar enfocado a contribuir al incremento de la productividad de azúcar a través de la generación y/o adaptación de variedades de alto tonelaje de caña y rendimiento de azúcar, adaptables a las diferentes condiciones ambientales con resistencia a las enfermedades y las plagas más comunes, así como adecuadas características agronómicas que influyen en la composición varietal, cosecha, fabricación y otros. (Orozco, Quemé, Ovalle, & Rosales, 2015)

Además Salazar (2016) agrega que la variedad que implementa el Ingenio Pantaleón en la Finca Puyumate, es la CP72-2086. Dicha variedad presenta las siguientes características: planta de crecimiento erecto, verde con vetas color vino, de floración temprana, tallos molederos de

tres metros considerados como medianos, cuenta con hojas largas de 1,64 metros, resistente al carbón y a la roya, susceptible al ataque de barrenadores, tiene un rendimiento medio potencial de 115 toneladas por hectárea, es la variedad con mayor presencia en los campos cañeros del país. (SAGARPA, CONADESUCA, & Chapingo, 2016)

2.4 Sistemas de siembra

En el mundo cañero, se emplea una amplia gama de distancias de siembra, que van desde 0,90 m hasta 1,80 m, y la mayoría de los productores coinciden en señalar que, dentro de ciertos límites, se obtienen incrementos en el rendimiento agrícola con las distancias menores, al aumentar el número de tallos por unidad de área. La modalidad del doble surco, conlleva ventajas importantes al incrementar los rendimientos en un 20% en comparación con el surcado tradicional, lo cual se debe a la mayor densidad de siembra. (Barrantes Mora, Alfaro Portuguez, & Ocampo Chinchilla, 2015)

En la Figura 1, se muestra el sistema de siembra antes citado.

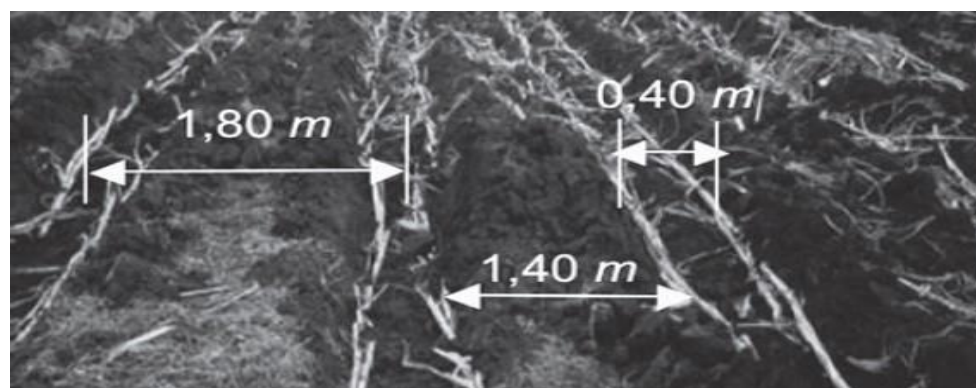


Figura 1 Modalidad de siembra en doble surco

FUENTE: GÓMEZ, PLATERO, ROSSI Y PRIETO, 2011

2.5 Sistemas de Riego

Uno de los factores más importantes a tomar en cuenta para el desarrollo del proyecto, y del que prácticamente depende el éxito o el fracaso del mismo, es el sistema de riego a implementar (gravedad o a presión), por lo que su elección debe darse tomando en cuenta al cultivo y todas las características propias del terrenos y la zona donde se va a instalar el sistema.

El riego superficial ha sido utilizado desde épocas remotas por el hombre, y actualmente a pesar de los avances tecnológicos es el que ocupa la mayor superficie regada en muchos lugares. Es el más tradicional y fue el usual hasta finales del Siglo XIX cuando surgió el riego localizado. Su tendencia actual es a ser sustituido por otras técnicas ya que su mayor inconveniente es el despilfarro de agua que lleva consigo. Es muy significativo el dato de que las pérdidas de agua originadas solo por evaporación, en largos recorridos a cielo abierto, se estiman en aproximadamente un 25%, sin contar las filtraciones incontroladas, roturas de conductos, entre otros. (Acedo Casado, Alonso Redondo, & Llamas García, 2012)

El riego localizado es, especialmente, adecuado para el suministro de pequeñas dosis con altas frecuencia, lo que permite mantener la mayor parte del suelo en buenas condiciones de aireación y de humedad, evitando el estrés hídrico. Por otro lado, cuando el riego es frecuente, se mantiene baja la concentración de la solución del suelo, lo que hace posible la utilización de agua con un contenido de sales más elevado que con los otros métodos de riego. Los sistemas de riego localizado pueden para trabajar en, prácticamente, cualquier tipo de topografía. (Santos Pereira, De Juan Valero, Picornell Buendía, & Tarjuelo Martín, 2010)

2.6 Sistema de riego por goteo.

El riego por goteo es un sistema presurizado donde el agua se conduce y distribuye por conductos cerrados que requieren presión. Desde el punto de vista agronómico, se denominan riegos localizados porque humedecen un sector de volumen de suelo, suficiente para un buen desarrollo del cultivo. También se lo denomina de alta frecuencia, lo que permite regar desde una a dos veces por día, todos o algunos días, dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del cultivo. La posibilidad de efectuar riegos frecuentes permite reducir notoriamente el peligro de estrés hídrico, ya que es posible mantener la humedad del suelo a niveles óptimos durante todo el periodo de cultivo, mejorando las condiciones para el desarrollo de las plantas. (Liotta, Carrión, Ciancaglini, & Olguín, 2015)

La implementación del riego por goteo y el fertirriego en la caña de azúcar ha comprobado ser técnicamente posible y económicamente viable. En diversas situaciones agro-ecológicas, el riego registró una producción mayor (de 50 a 90 Ton/ha), la reducción del agua (de un 30 a un

45%) y de fertilizantes (de un 25 a un 30%). Además, el riego por goteo contribuye a la mejora en el contenido de sacarosa comparado con los surcos convencionales y los métodos de riego por aspersión de pivote central, aéreo o de línea. (NETAFIM, 2017^a)

Uno de los factores más importantes para este tipo de sistema, es la escogencia de la cinta de goteo. En el mercado se ofrecen gran cantidad, pero por su tecnología la Dripnet PC de NETAFIMTM destaca actualmente en el mercado. Las siguientes son las características de dicha cinta: (NETAFIM, 2017^b)

- a) El sistema PC, un sistema de presión diferencial patentado, mantiene un caudal uniforme a diferentes presiones de entrada (entre 0,4 a 2,5/3,0 bar), asegurando una distribución exacta de agua y nutrientes.
- b) El laberinto TurboNetTM asegura amplios pasos de agua, su ancha, profunda y amplia sección mejora la resistencia a la obstrucción. Su amplia sección permite el paso de partículas grandes.
- c) Su amplia área de filtración asegura un desempeño óptimo aún bajo condiciones rigurosas de agua.
- d) Su sistema de auto-limpiado y su amplia área de filtración proporciona una resistencia a la obstrucción mejorada.

2.7 El bulbo de humedecimiento

Cuando los goteros aplican el agua, esta se infiltra y va formando en el interior del suelo un humedecimiento en forma de cebolla, al cual se le llama “bulbo húmedo”. Este bulbo presenta un diámetro pequeño en la superficie del suelo, pero se ensancha adquiriendo su máximo diámetro a una profundidad de 30 cm aproximadamente.

La forma del bulbo está condicionada en gran parte por el tipo de suelo. En los suelos pesados (de textura arcillosa), la velocidad de infiltración es menor que en los suelos ligeros (de textura arenosa), lo que hace que el charco sea mayor y el bulbo se extienda más horizontalmente que profundidad. (Mendoza, 2013)

En la Figura 2, se muestra el comportamiento del agua en diferentes texturas de suelo.



FIGURA 2 COMPORTAMIENTO DEL BULBO DE HUMEDECIMIENTO EN DISTINTAS TEXTURAS

FUENTE: ELRIEGO.COM

2.8 Factores a considerar para el correcto diseño del sistema

Un sistema de riego por goteo debe ser planificado y diseñado con cuidado. El diseño debe tener en cuenta el efecto de la topografía (inclinación y curvas de nivel) sobre los requisitos de presión y flujo. Para asegurar la uniformidad en la aplicación de agua tenga en cuenta los siguientes factores: el tipo de cinta, la longitud de las cintas y la necesidad de limpiar las cintas de vez en cuando. De ser necesario, el sistema debe incluir válvulas de escape. (Welch & Shock, 2013)

Para diseñar un sistema de riego por goteo, primero identifique las zonas de riego, es decir las áreas con características semejantes. Las zonas de riego deben basarse sobre varios factores: la topografía, la longitud del campo, la textura del suelo, la longitud óptima de la cinta y la capacidad del filtro. Los ingenieros que diseñan sistemas de riego utilizan computadoras para analizar estos factores y diseñar sistemas de riego por goteo eficientes. Una vez diseñado e instalado el sistema de riego es posible programar el riego, para satisfacer las necesidades específicas de los cultivos de cada zona. (Welch & Shock, 2013)

2.9 Diseño Agronómico

Todo sistema de riego requiere de un diseño agronómico en el cual se deben tener en cuenta las características del suelo, cultivos a realizar, distancia de plantación, etc. Esta información proporciona datos básicos para el posterior diseño hidráulico, como caudal por planta, tiempo de riego, etc. (Liotta et al., 2015)

El diseño agronómico es la parte más importante del proyecto de riego, ya que cualquier error aquí generará un sistema inadecuado a lo que se precise, por ejemplo si se estiman unas necesidades de riegos menores a las reales, repercutirá en la producción, la calidad y podrían darse problemas de salinidad por falta de lavado de sales. (Mendoza, 2013)

Por lo mencionado anteriormente es de suma importancia conocer los factores que pueden afectar en algún momento la correcta operación del sistema planteado, tal es el caso de la evapotranspiración (ET), evapotranspiración del cultivo (ETc), evapotranspiración de referencia (Eto), coeficiente del cultivo (Kc), lámina bruta (Lb), lámina neta (Ln), eficiencia, entre otros.

2.9.1 Evaporación

La evaporación es un proceso físico que se define como el paso del estado líquido al gaseoso del agua. Ocurre cuando se suministra energía calorífica al agua, lo cual incrementa la energía cinética de sus moléculas y hace que se muevan más rápido, aumentando el volumen del líquido, fenómeno conocido como dilatación. A medida que la temperatura aumenta, algunas moléculas que se encuentran cerca de la superficie y que se mueven aún más deprisa que las demás, escapan del líquido debido a su energía y pasan a la atmósfera como moléculas de vapor. (Marín, 2010)

2.9.2 Transpiración

La transpiración es la salida de vapor de agua hacia la atmósfera circundante desde las superficies celulares que, en conjunto al intercambio de dióxido de carbono (CO₂), determinan la eficiencia del uso del agua de una planta y se encuentra relacionado con la fotosíntesis. Su pérdida se produce a través de estructuras anatómicas como los estomas, lenticelas o cutícula siendo de esta manera un determinante primario del balance energético de la hoja y del estado hídrico de la planta. (Silva, 2016)

2.9.3 Evapotranspiración

Según Carrazón (2007), la evapotranspiración (ET) de un cultivo será la suma del agua del suelo que es utilizada por las plantas en el proceso de transpiración, y la evaporación del agua del suelo que rodea a la planta. En otras palabras, la evapotranspiración de un cultivo representa la cantidad de agua utilizada por la planta y su entorno. Son varios los factores que influyen en la evapotranspiración, siendo los principales:

- a) El clima: la evapotranspiración aumenta con tiempo cálido, seco, existencia de viento, y cielos despejados.
- b) El propio cultivo: la evapotranspiración es mayor a mayor densidad de cultivo, y en las fases media y de maduración.
- c) El suelo: la evapotranspiración será mayor a mayor humedad del suelo.

El concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones: evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (Etc), y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar. Eto es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera. Etc se refiere a la evaporación en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas. (Allen G., Pereira, Raes, & Smith, 2006). En cuanto a la Eto, los mismos autores señalan más adelante que “La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina Eto. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. No se recomienda el uso de otras denominaciones como ET potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición”.

2.9.3.1 Método de Penman-Monteth

En 1948, Penman combinó el balance energético con el método de la transferencia de masa y obtuvo una ecuación para calcular la evaporación de una superficie abierta de agua a partir de datos climáticos estándar de insolación solar (horas sol), temperatura, humedad atmosférica y

velocidad de viento. Este método fue desarrollado posteriormente y ampliado a las superficies cultivadas por medio de la introducción de factores de resistencia. (Santana Pérez, 2008)

Un panel de expertos e investigadores en riego fue organizado por la FAO en mayo de 1990, en colaboración con la Comisión Internacional para el Riego y Drenaje y con la Organización Meteorológica Mundial, con el fin de revisar las metodologías previamente propuestas por la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y para elaborar recomendaciones sobre la revisión y la actualización de procedimientos a este respecto. El panel de expertos recomendó la adopción del método combinado de Penman-Monteith como nuevo método estandarizado para el cálculo de la evapotranspiración de la referencia y aconsejó sobre los procedimientos para el cálculo de los varios parámetros que la fórmula incluye. El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m^{-1} y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. El método reduce las imprecisiones del método anterior de FAO Penman y produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos. (Allen G. et al., 2006)

2.9.4 Coeficiente del Cultivo

El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente K_c . Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de K_c . (Allen G. et al., 2006)

En la Figura 3, se muestran los valores del coeficiente del cultivo para las distintas etapas de desarrollo.

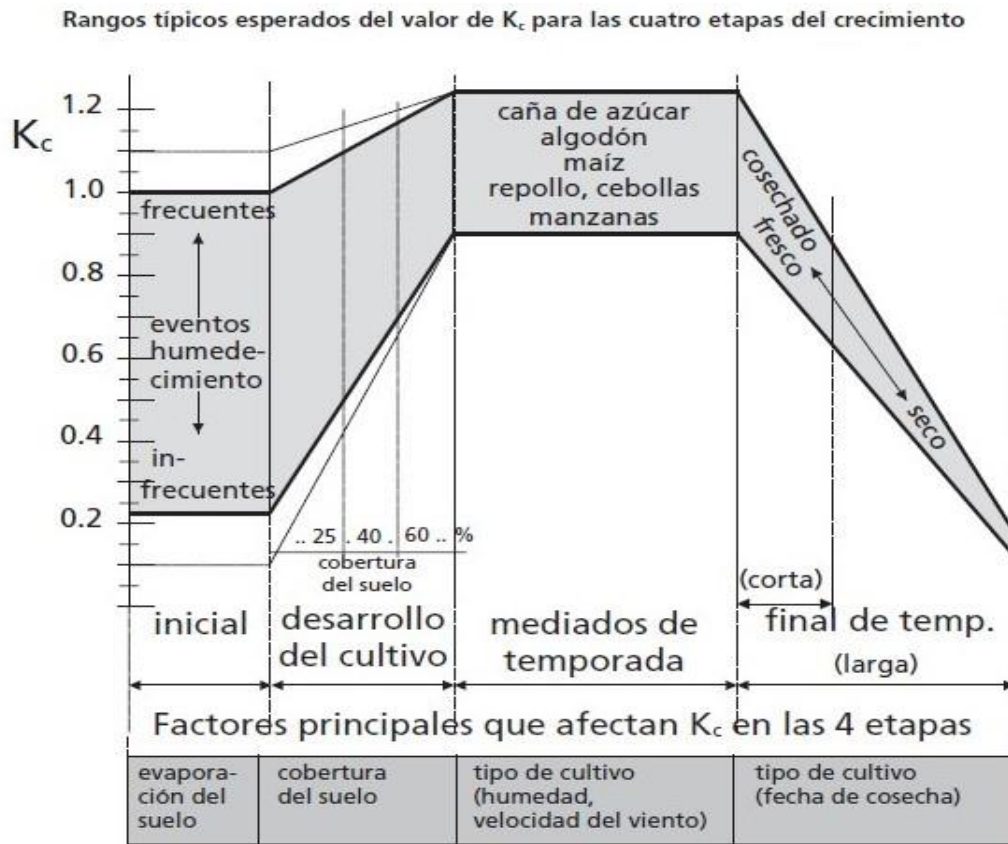


FIGURA 3 RANGOS DE K_c EN DISTINTAS ETAPAS DE CRECIMIENTO PARA VARIOS CULTIVOS

Fuente: FAO

2.10 Diseño Hidráulico

En el diseño hidráulico se determina en primer lugar la subunidad de riego, donde se tienen en cuenta la tolerancia de presiones y caudales, pérdidas de carga, diámetros de tuberías, etc. Posteriormente se diseña la unidad de riego, el trazado y diámetros de tuberías primarias y secundarias y el cabezal de riego. (Liotta et al., 2015)

El dimensionamiento hidráulico de las tuberías, tuberías portarramales con gotero y ramales portagoteros exige mucha atención, puesto que las cargas hidráulicas son pequeñas (generalmente, de 7 a 15 m), en numerosas ocasiones, del mismo orden de valor, o superiores, a las variaciones de cota en el sistema. Las bases y metodologías de cálculo se exponen y desarrollan bien en varios manuales (Keller y Bliesner, 1990; Burt y Styles, 1994; Tiercelin y Vidal, 2006). El recurrir a modelos está justificado por la complejidad de las redes, variedad de

equipos y por la necesidad de realizar cálculos reiterativos para conseguir encontrar soluciones adecuadas para las bajas presiones utilizadas y para la uniformidad de los caudales aplicados. Además, los modelos permiten respetar fácilmente los criterios de uniformidad y eficiencia. (Santos Pereira et al., 2010)

2.11 Válvulas Hidráulicas

Las válvulas son elementos en un circuito hidráulico que realizan funciones de abrir, cerrar, regular y controlar el flujo y la presión del fluido en el circuito hidráulico. Según Pomedá, 2012, existen los siguientes tipos:

- a) **Válvulas limitadoras de presión:** su función es la de limitar la presión de un circuito hidráulico a un valor máximo (generalmente ajustable en la propia válvula), su uso más común es como válvula de seguridad para evitar reventones en el circuito.
- b) **Válvulas de descarga:** es muy similar a las anteriores solo que al contrario de estas, que solo actúan en situaciones límites, actúa habitualmente como divisor de caudal cuando la bomba es de caudal constante y necesitamos ajustar el caudal sobre un elemento de otra forma.
- c) **Válvulas de secuencia:** funcionalmente similar a la limitadora solo que en este caso el aceite que pasa a través de ella no se conduce al tanque si no que se utiliza para pilotar otra válvula o elemento hidráulico.
- d) **Válvulas antirretorno o de cierre:** estas válvulas permiten el flujo en un sentido mientras lo bloquean en el contrario. Este bloqueo ha de ser totalmente hermético y sin fugas por lo que siempre son de asiento.
- e) **Válvula reguladora o reductora de presión:** son válvulas que reducen la presión del aceite en la salida a un valor siempre menor que el de la entrada.
- f) **Válvulas reguladoras de caudal:** estas válvulas ajustan el caudal que circula por ellas a un valor más o menos constante y siempre menor al que el circuito podría conseguir, por lo que quizá deberíamos llamarlas reductoras de caudal.
- g) **Válvulas distribuidoras o de vías:** son elementos que modifican el flujo en los circuitos hidráulicos, permiten controlar la dirección del movimiento y la parada de los cilindros y otros actuadores

2.12 Cabezal de Riego

Llamamos cabezal de riego al conjunto de elementos destinados a filtrar, tratar, medir y suministrar el agua a la red de distribución. Un cabezal de riego está constituido por los sistemas de impulsión, fertirrigación y filtrador. (Quizhpe Pineda, 2010)

Según la página de web Novedades Agrícolas, los componentes que se instalan en un cabezal de riego dependen de los siguientes factores:

- a) De la superficie de riego: dependiendo de la superficie las necesidades del caudal cambian de manera que la selección del equipo de bombeo dependen del tamaño de la explotación y de la orografía del terreno.
- b) De las condiciones de la fuente de agua para el riego: dependiendo de la procedencia y las condiciones que presenta el agua se elegirá el tipo de filtrado que necesite e incluso si el agua viene con presión suficiente puede no ser necesaria la instalación del bombeo.
- c) Del tipo de riego y fertilización: dependiendo del tipo de riego que se realice y de si se efectúan operaciones de fertirrigación se diseñará el sistema de abonado.
- d) De las necesidades del agricultor: dependiendo del grado de automatización que precisen tanto los equipos como las condiciones que solicite el agricultor o el técnico de la explotación se automatiza el cabezal de riego.

2.12.1 Equipo de Bombeo

Son centrífugas, de eje vertical BTV u horizontal, impulsadas por motores estacionarios a explosión o eléctricos. La dimensión del equipo de bombeo dependerá del caudal y presión de operación requerida para el funcionamiento del sistema, es decir que para elegir el equipo de bombeo que vamos a usar primero debemos tener ya definidos el caudal y presión que necesitará nuestro sistema. Se dispone de gran variedad de bombas en la actualidad para los requerimientos de diversos sistemas, sin embargo en algunas ocasiones se requiere de más de una bomba, en tales casos se pueden instalar las bombas en serie (si lo que se desea es mayor presión) o en

paralelo (si lo que se busca es aumentar el caudal). (Martínez, 2006) Un factor importante para elegir la bomba a instalar, es el valor de NPSH.

NPSH (Altura neta positiva de aspiración), del inglés Net Positive Suction Head, es la diferencia entre la presión del líquido a bombear referida al eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, referida en metros. Hay que distinguir entre el NPSH disponible y el NPSH requerido. El disponible depende del conjunto de la instalación elegida para la bomba y es una particularidad independiente del tipo de bomba. Es por tanto calculable. El requerido, sin embargo, es un dato básico peculiar de cada tipo de bomba, variable según el modelo, tamaño y condiciones de servicio, que se determina por prueba o cálculo, siendo un dato a facilitar por el fabricante el cual ha obtenido a través de ensayos. Para que una bomba funcione correctamente sin cavitación, ha de cumplirse que el NPSH disponible en la instalación sea igual o mayor que el NPSH requerido por la bomba. (Otón Tortosa, 2015)

2.12.2 Fertirriego

La caña de azúcar, por su alta producción de biomasa, requiere cantidades considerables de fertilizante. Al igual que para otros cultivos, las tasas de absorción de nutrientes son más rápidas durante las fases tempranas (ahijamiento y elongación del tallo), cuando las tasas de acumulación de biomasa son altas. La caña de azúcar puede crecer en una gran variedad de suelos, pero prefiere los suelos profundos bien drenados, con un pH óptimo de entre 6 y 7,5. Un cultivo de caña de azúcar que produce 100 toneladas de tallos frescos puede extraer de 120-200 kg de nitrógeno/ha, 20-40 kg de fósforo/ha y 150-300 kg de potasio/ha. No son deseables los altos niveles de nitrógeno durante la fase de maduración, porque el nitrógeno promueve el crecimiento vegetativo a costa de la acumulación de sacarosa. (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2014)

Los nutrientes esenciales para la caña de azúcar son 19 y pueden ser agrupados en tres grupos: los elementos no minerales (C, H y O), los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, y Si) requeridos en cantidades expresadas en % o en $g\ kg^{-1}$ de peso seco y los micronutrientes (Fe, Zn, B, Cu, Cl, Mn, Ni, Na y Mo) requeridos en menores cantidades expresadas en % o en $mg\ kg^{-1}$. (Suárez García, 2012)

El equipo de fertirriego puede reducirse a un simple depósito fertilizador, a acoplar en paralelo al conducto principal, mediante oportunas conexiones, antes del colador. A su través puede pasar un tercio a un cuarto del gasto total distribuido, que transporta asó el fertilizante disuelto. En la mayoría de las instalaciones consta de varios depósitos donde se almacenan los elementos nutritivos, y a dispositivos para la subsiguiente inyección en succión, con venturís, o a presión, con bomba auxiliar regulados por automatismos de control. Suelen ir instalado entre los filtros de arena y el colador de malla o anillas. No obstante, también puede instalarse a la cabecera de las unidades de riego en cuyo caso deberán ir seguidos por un colador de malla o anillas. (Sobrino, Alvarez, Rodríguez, & Garrido, 2017)

2.12.3 Sistema de Filtrado

Uno de los principales problemas que se presenta en los sistemas de riego por goteo es la obstrucción que puede presentarse en las líneas de tuberías y los emisores. Es por lo anterior que el sistema de filtrado tiene vital importancia en el funcionamiento y la vida útil de este.

La obturación del gotero puede deberse a partículas minerales (arena, limo o arcilla), partículas orgánicas (algas, bacterias y restos de plantas) y precipitados químicos (sales, fertilizantes, etc.). Así mismo, si no se eliminan estas partículas y precipitados, podrían obturar también, las tuberías y dañar los dispositivos del sistema con elementos móviles. Los factores que contribuyen al atascamiento son, esencialmente, la calidad del agua de riego, los fertilizantes incorporados a la misma y la propia sensibilidad del orificio. Un buen sistema de filtración es esencial para el correcto funcionamiento del riego y tiene como finalidad limpiar el agua de elementos que tiendan a producir la obstrucción. A este fin se pueden utilizar equipos para prefiltrar el agua, filtros (de arena) y coladores (en general, de malla o anillas). (Sobrino et al., 2017)

Según (Plana, 2008), existen diferentes tipos de filtros según el problema que se quiera tratar:

- a) Hidrociclón: no es un filtro propiamente dicho, sino un separador de arena. Se utiliza para separar partículas de mayor densidad que el agua, fundamentalmente cuando tenemos agua de pozo que no sale limpia. Se instala al principio del cabezal de riego,

antes de las bombas de impulsión, para protegerlas de la arena, que las estropea rápidamente. En la figura 4 se muestra el hidrociclón.

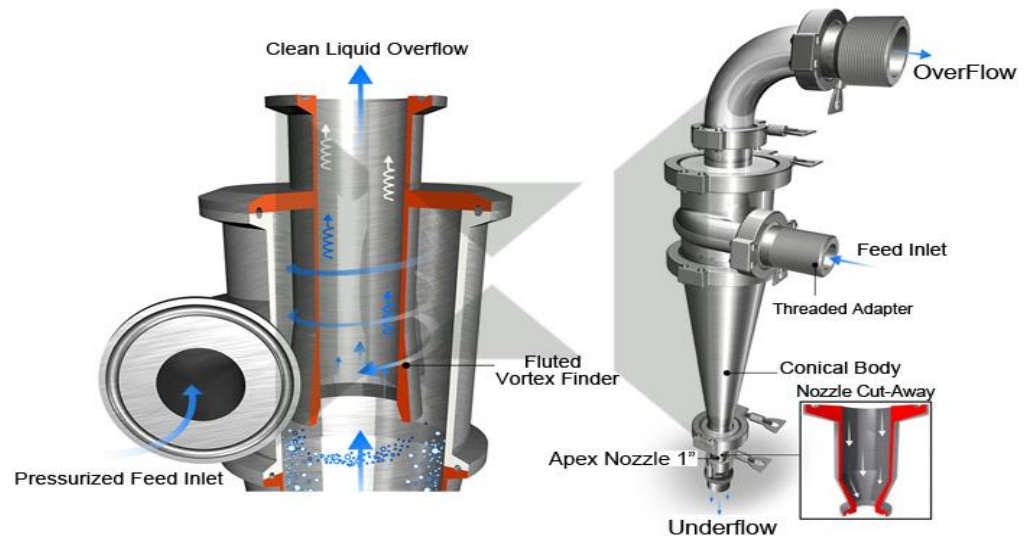


FIGURA 4 HIDROCICLÓN

FUENTE: ALIBABA.COM

- b) Filtro de arena: son un elemento básico en un cabezal de riego. Se utilizan para eliminar impurezas de tipo orgánico, tales como algas, además de pequeñas partículas minerales. Básicamente consiste en un depósito metálico lleno de arena en el que circula el agua por su interior a través de la arena, quedando las partículas retenidas en la misma, y saliendo el agua limpia. La arena debe ser del tipo silíceo, ya que es más estable frente a los ataques químicos, y de tamaño uniforme, para garantizar un adecuado filtrado. Los filtros de arena son imprescindibles cuando se dispone de agua que pueda tener materia orgánica, como agua embalsada. Se conectan siempre, al menos, dos filtros, de forma que pueda realizarse la limpieza de uno con el agua filtrada previamente con el otro, lo que se conoce como limpieza por retrolavado o inversión de flujo. En la figura 5 se muestra el filtro de arena.

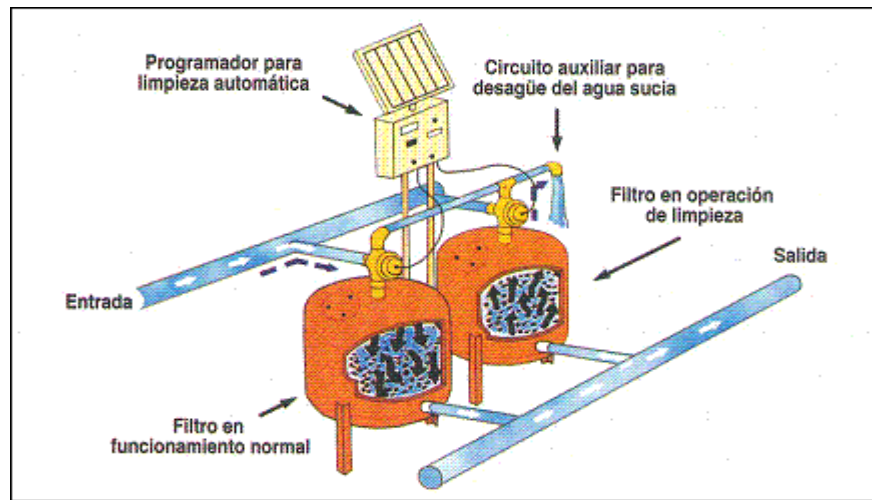


FIGURA 5 FILTRO DE GRAVA O ARENA

FUENTE: OCWUS.US.ES

- c) Filtro de anillas: en estos filtros, el elemento filtrante es un conjunto de discos ranurados, que se comprimen formando un cartucho, quedando pequeños agujeritos correspondientes a las ranuras entre disco y disco. El cartucho se monta sobre una carcasa que suele ser de plástico. El efecto de filtrado es intermedio entre los filtros de malla y los de arena, y se han popularizado mucho en los últimos años, por su facilidad para la automatización de la limpieza mediante la aplicación de chorros de agua a presión. En la figura 6 se muestra el filtro de anillas.

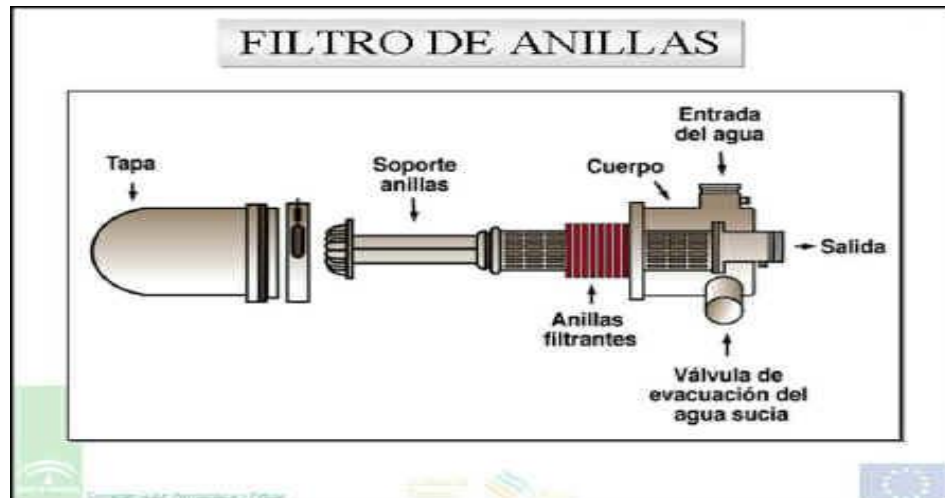


FIGURA 6 FILTRO DE ANILLOS

FUENTE: ELRIEGO.COM

- d) Filtros de malla: realizan una retención de partículas superficial, por lo que se colmatan muy rápidamente. Por este motivo, se utilizan para filtrar partículas inorgánicas de aguas no muy sucias. Suelen instalarse en un cabezal de riego para después de la inyección de fertilizantes. No funcionan bien cuando hay algas o materia orgánica, ya que se obstruyen muy rápidamente. En la figura 7 se muestra el filtro de malla.

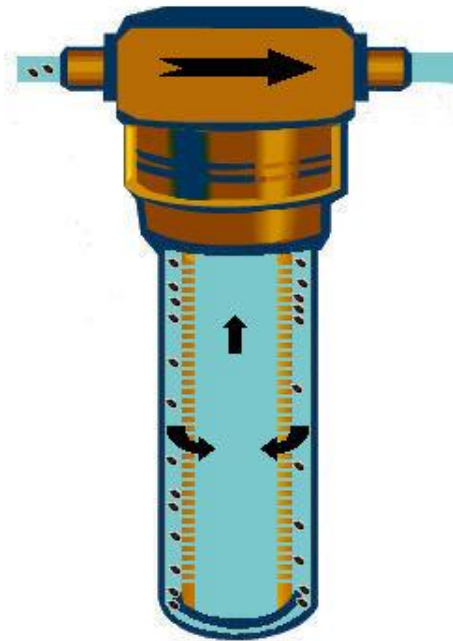


FIGURA 7 FILTRO DE MALLA

FUENTE: QUIMICADELAGUA.COM

2.13 Mantenimiento del Sistema

Como indica Romero (2005), las siguientes son prácticas que deben de seguirse para garantizar un buen mantenimiento del sistema:

- a) Controlar permanentemente la calidad del agua durante el riego, haciendo limpieza de las mallas del desarenador y de la arena, limo, arcilla, piedras, etc, que pueden haberse acumulado dentro del mismo.
- b) Una vez por mes es recomendable, dejar remojando el cartucho filtrante en un balde con agua y cloro disuelto y una vez al año con ácido muriático para eliminar incrustaciones cálcicas en los anillos.
- c) El taponamiento de emisores es una amenaza que atenta contra el buen rendimiento del equipo, por ello es necesario realizar un lavado frecuente de las cintas, para evitar el taponamiento de emisores. El lavado de las cintas consistirá en retirar el tapón final de las cintas (doblez), dejando que fluya el agua por intervalo minutos. Esta operación es recomendable que se realice mensualmente.
- d) Si por algún motivo la cinta se rompiese o tuviese un pequeño agujero, se recomienda repararlo lo más pronto posible con cinta aislante, de lo contrario se afectará la uniformidad de riego del sistema.
- e) Se recomienda pintar toda la tubería de PVC, expuesta a la luz solar con esmalte blanco para evitar la absorción del calor y así prolongar su vida útil.

2.14 Programas Computacionales Utilizados en el Proceso de Diseño

2.14.1 CLIMWAT

CLIMWAT es una base de datos climática para ser usada en combinación con el programa computacional CROPWAT, y permite calcular los requerimientos hídricos del cultivo, el suministro de riego y la programación de riego para varios cultivos para una variedad de estaciones climáticas en todo el mundo. El programa proporciona valores mensuales promedio a largo plazo de siete parámetros climáticos, a saber:

- a) Promedio diario de temperatura máximo en °C
 - b) Promedio diario de temperatura mínimo en °C
 - c) Humedad relativa promedio en %
 - d) Velocidad promedio del viento en km/día
 - e) Insolación promedio en horas por día
 - f) Radiación solar promedio en MJ/m²/día
 - g) Precipitación mensual en mm/mes
 - h) Precipitación mensual efectiva en mm/mes
 - i) Evapotranspiración de referencia calculada con el método Penman-Monteith en mm/día
- (FAO, 2017)

2.14.2 CROPWAT

CROPWAT 8.0 para Windows es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos y de cultivo ya sean existentes o nuevos. Además, el programa permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de previsión de agua para diferentes patrones de cultivos.

Todos los procedimientos de cálculo, tal como se utilizan en CROPWAT 8.0 se basan en las directrices de la FAO tal como se establece en la publicación No 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO “Evapotranspiración del Cultivo – Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”. (FAO, 2017)

2.14.3 AutoCAD

Autodesk AutoCAD es un programa informático de dibujo asistido por ordenador, para dibujo en dos y tres dimensiones.

AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica en la que se muestran éstas; es el llamado editor de dibujo. La interacción del usuario se realiza a través de comandos, de

edición o dibujo, desde **la línea de órdenes o barra de comandos**, a la que el programa está fundamentalmente orientado. Sin embargo, también existen **barras de herramientas** localizadas en menús desplegables, donde podemos encontrar las órdenes de manera más visual e intuitiva.

AutoCAD, utiliza el concepto de espacio modelo y espacio papel para separar las fases dibujo en 2D y 3D, de las específicas para obtener planos trazados en papel a su correspondiente escala. (Pérez, 2012)

2.14.4 WaterCAD V8i

WaterCAD es una aplicación de modelamiento hidráulico y de calidad de agua fácil de usar para sistemas de distribución de agua. Las empresas de servicios públicos, las municipalidades y las empresas de ingeniería confían en WaterCAD como una aplicación fiable y de ahorro de recursos para la toma de decisiones para su infraestructura de agua. Desde análisis de flujo de incendios y concentración de componentes, hasta administración de costos de energía y modelado de bombas, WaterCAD ayuda a ingenieros y servicios públicos a analizar, diseñar y optimizar sistemas de distribución de agua. (Bentley, 2017)

2.14.5 HydroCalc

NetafimTM ofrece el innovador programa de diseño de sistemas de riego HydroCalc. Una herramienta fácil de usar para realizar cálculos hidráulicos básicos, HydroCalc permite a los diseñadores, distribuidores y usuarios evaluar el comportamiento de los componentes de un sistema de micro-irrigación en el campo, tales como:

- a) Laterales de goteo y micro aspersores
- b) Tuberías principales
- c) Tuberías secundarias
- d) Válvulas
- e) Calculadora de energía

(Netafim, 2017)

2.15 Impacto Ambiental

Por impacto ambiental se entiende el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea de base (medio ambiente), debido a la acción antrópica o a eventos naturales. (Gutierrez Aponte & Sánchez Ángulo, 2009)

2.16 Evaluación Financiera

La evaluación financiera de un proyecto debe tener como base el análisis con el que se mide la rentabilidad económica, en el que principalmente tenemos cuatro evaluaciones Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Tiempo de Recuperación de la Inversión y Relación Costo-Beneficio, todos estos con base en el Flujo de Efectivo. (Martínez Stone, 2013)

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los ingresos y egresos futuros que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, queda una ganancia. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros (ingresos menos egresos). Si al final el valor de este es mayor a cero, la inversión produciría ganancias y el proyecto puede aceptarse; pero si por el contrario, este es menor que cero, la inversión produciría pérdidas y el proyecto debería rechazarse. (Puga Muñoz, 2011)

TIR (tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) de una inversión sea igual a cero ($VAN=0$). Este método considera que una inversión es aconsejable si la T.I.R resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor (tasa de descuento), y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una T.I.R mayor. Si la TIR es igual a la tasa de descuento, el inversionista es indiferente entre realizar la inversión o no. Si la TIR es menor a la tasa de descuento, el proyecto debe rechazarse. (Puga Muñoz, 2011)

3. METODOLOGÍA

3.1 Generalidades

El diseño se realizó a solicitud del Ingenio Pantaleón, específicamente en la Finca Puyumate, la misma se ubica en la Región Central de Guatemala, en el Departamento de Escuintla. Lo anterior hizo difícil desplazarse hasta el sitio para recolectar la información meteorológica y los estudios básicos del lugar, por lo que se decidió recurrir al uso de herramientas específicas a estos temas desarrolladas por la FAO que proporcionen un alto grado de confiabilidad en los datos suministrados.

La Finca Puyumate se ubica a 32 km de la costa pacífica de Guatemala, con una elevación de 82 msnm. Mediante el uso del QuantumGIS se generó el mapa mostrado en la Figura 8, el cual muestra la ubicación geográfica de la finca del proyecto.

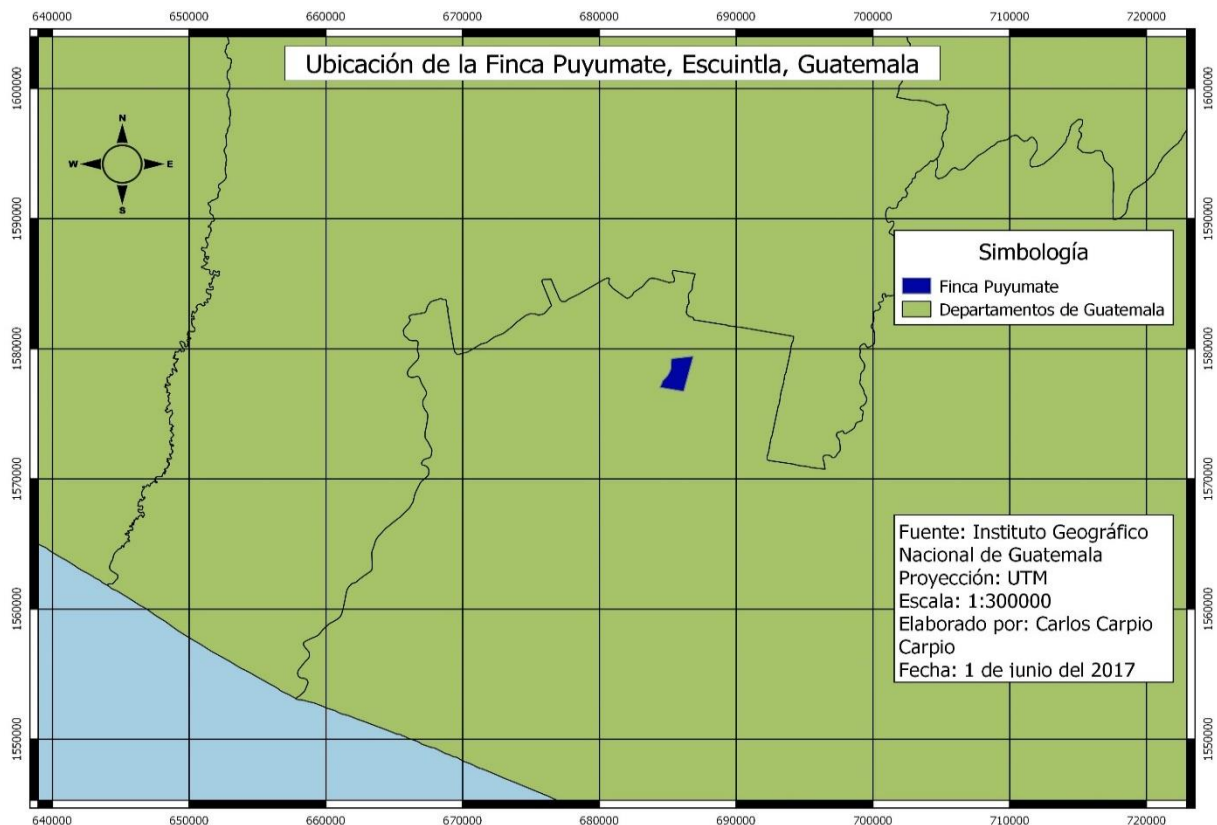


FIGURA 8 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA FINCA PUYUMATE

Elaborado con: QuantumGIS

3.2 Datos Meteorológicos y Estudios básicos

Para la determinación de la Eto (evapotranspiración de referencia), se utilizaron los programas desarrollados por la FAO, CLIMWAT y CROPWAT.

Haciendo uso del CLIMWAT, se pudieron extraer los datos de las estaciones meteorológicas más próximas al área del proyecto, las figuras 9 y 10 muestran la interfaz del programa que permite realizar la selección de las estaciones a analizar.

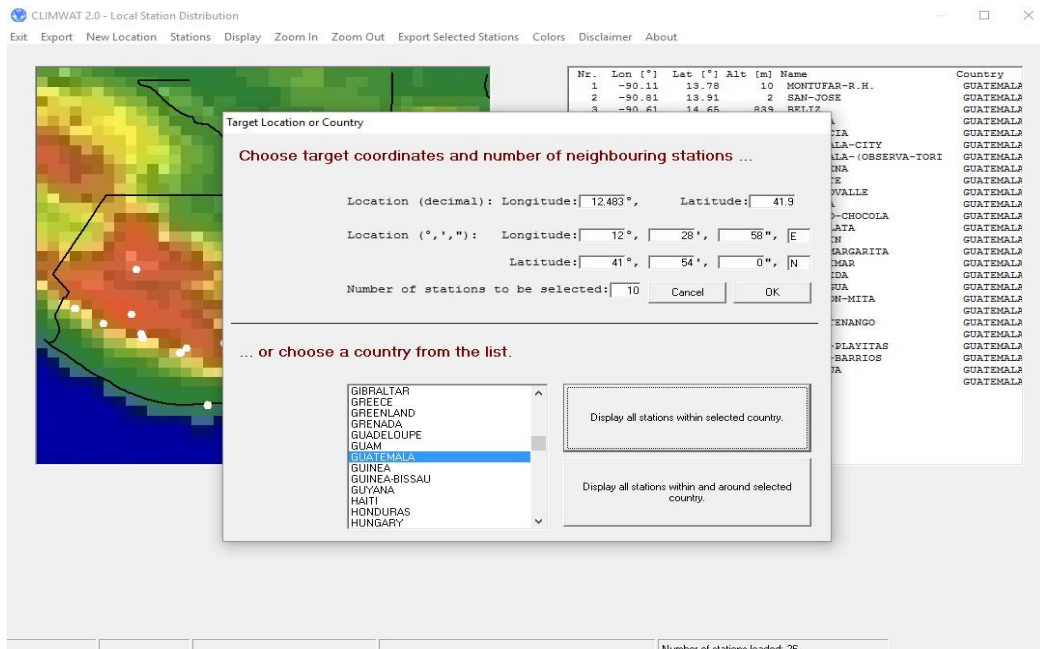


FIGURA 9 INTERFAZ INICIAL PROGRAMA CLIMWAT

Fuente: CLIMWAT

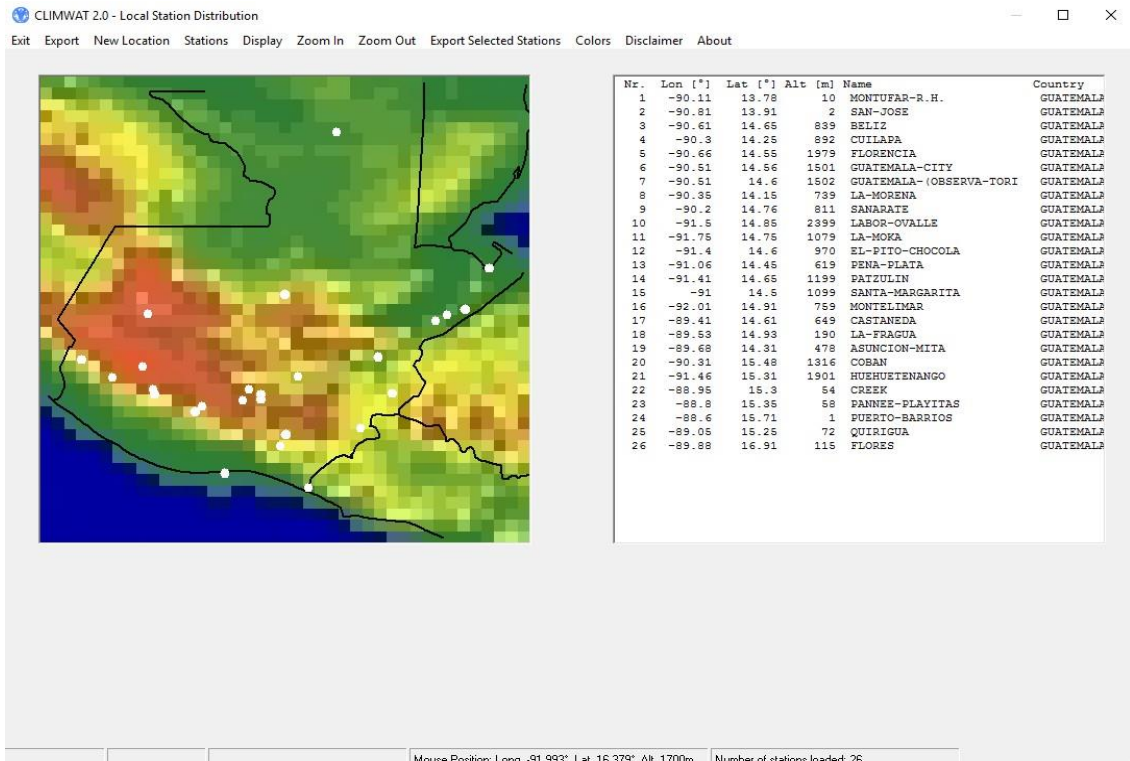


FIGURA 10 ESTACIONES DE GUATEMALA EN EL CLIMWAT

Fuente: CLIMWAT

Conociendo la ubicación del área del proyecto, se pudieron seleccionar las estaciones que mejor se relacionaran a las condiciones del mismo, estas fueron las siguientes:

- a) Santa Margarita
- b) Pena-Plata
- c) El Pito-Chocola
- d) Patzulin
- e) Montufar

Luego se analizaron los datos de cada una de las estaciones para poder elegir la que mejor se ajustara a las características del área del proyecto. Tomando en cuenta lo anterior se descartó usar Santa Margarita, Pena-Plata, El Pito-Chocala y Patzulin, ya que se encuentran en zonas dónde la diferencia de elevaciones es muy alta, por lo que se corría el riesgo de que los datos obtenidos provocaran un error en los cálculos posteriores a este análisis. Dichos datos se muestran en el Cuadro 2.

CUADRO 2 DATOS AGROMETEOROLÓGICOS DE LAS ESTACIONES CERCANAS A FINCA PUYUMATE

Estación	Altura (m)	Temp. Minim. (°C)	Temp. Max. (°C)	% Humedad	Etr
El Pito Chocola	592	16,8	28,6	80	3,53
Patzulin	1.035	16,2	27,2	85	3,29
Santa Margarita	1.275	16,1	29,6	74	4,15
Pena Plata	726	20,7	27,1	76	3,90
Montufar	11	24,8	33,5	75	4,52

Por lo que se decidió utilizar la estación Montufar, ya que por estar en una elevación baja similar a la de la Finca Puyumate, es la que se adapta mejor a las condiciones meteorológicas del área del proyecto.

Posteriormente, como se muestra en la Figura 11, los datos de la estación seleccionada se ingresaron al programa CROPWAT, esto para obtener el dato de la Eto de la zona.

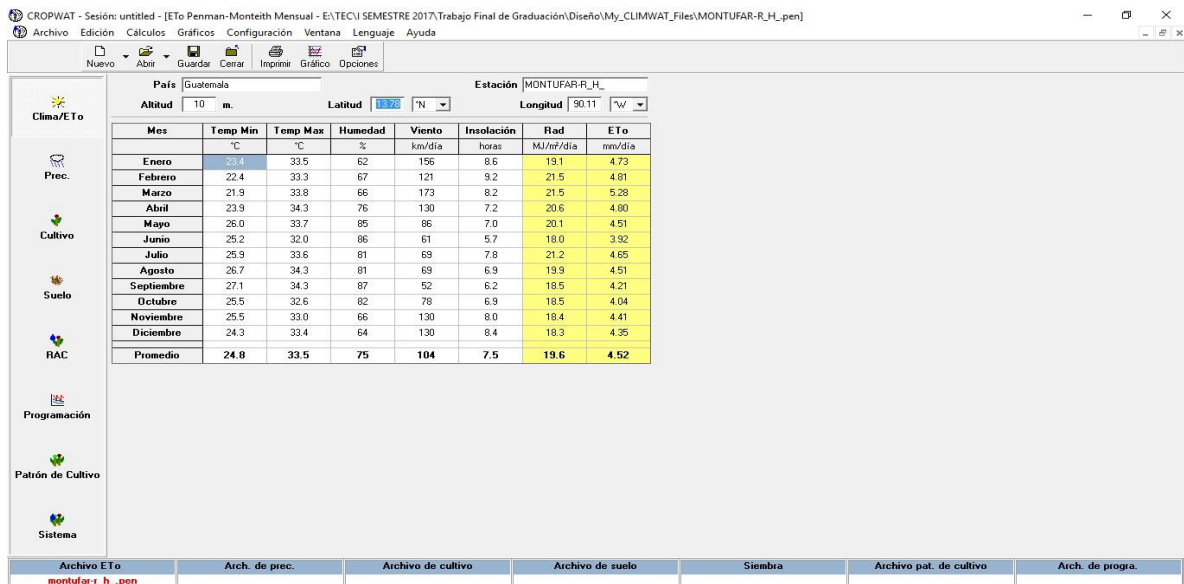


FIGURA 11 DATOS GENERADOS EN EL CROPWAT PARA LA ESTACIÓN MONTUFAR

Fuente: CROPWAT

Este programa realiza el cálculo de la Eto mediante el método de FAO Penman-Monteith, el cual viene dado por la siguiente ecuación (1):

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

Dónde:

- Eto: evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)
- Rn: radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)
- Ra: radiación extraterrestre (mm día⁻¹)
- G: flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)
- T: temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- u₂: velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)
- e_s: presión de vapor de saturación (kPa)
- e_a: presión real de vapor (kPa)
- e_s – e_a: déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ: pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
- γ: constante psicométrica (kPa °C⁻¹)

Cabe resaltar que todos los valores con los cuales el programa realiza la estimación de la Eto, están contenidos en el archivo que proporciona el documento obtenido mediante el CLIMWAT.

Para determinar el valor de Kc, se consultó el estudio sobre riego y drenaje de la FAO, el cual en su documento “Evapotranspiración del Cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos”, indica los valores de Kc para cada edad fenológica del cultivo, por lo que se decidió usar el valor de la etapa media de crecimiento. Además se analizaron valores de zonas cercanas, lo que permitió obtener un promedio más confiable de Kc para realizar el diseño.

Luego el valor de la Etc (evapotranspiración del cultivo), se obtuvo mediante la ecuación (2):

$$ETc = Eto * Kc \quad (2)$$

Dónde:

ETc: evapotranspiración del cultivo (mm día-1)

ETo: evapotranspiración de referencia (mm día-1)

Kc: coeficiente del cultivo

3.2.1 Textura

Para obtener la textura del suelo que está presente en el sitio, se consultó el sitio web del Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA). Aquí se encuentran disponibles mapas y documentos desarrollados en toda la zona cañera de Guatemala por los investigadores de dicha institución, es por esto que se decidió tomar el dato de textura que está indicado en el mapa de “Textura de los suelos de la zona cañera de Guatemala”, dicho mapa se muestra en la Figura 12.

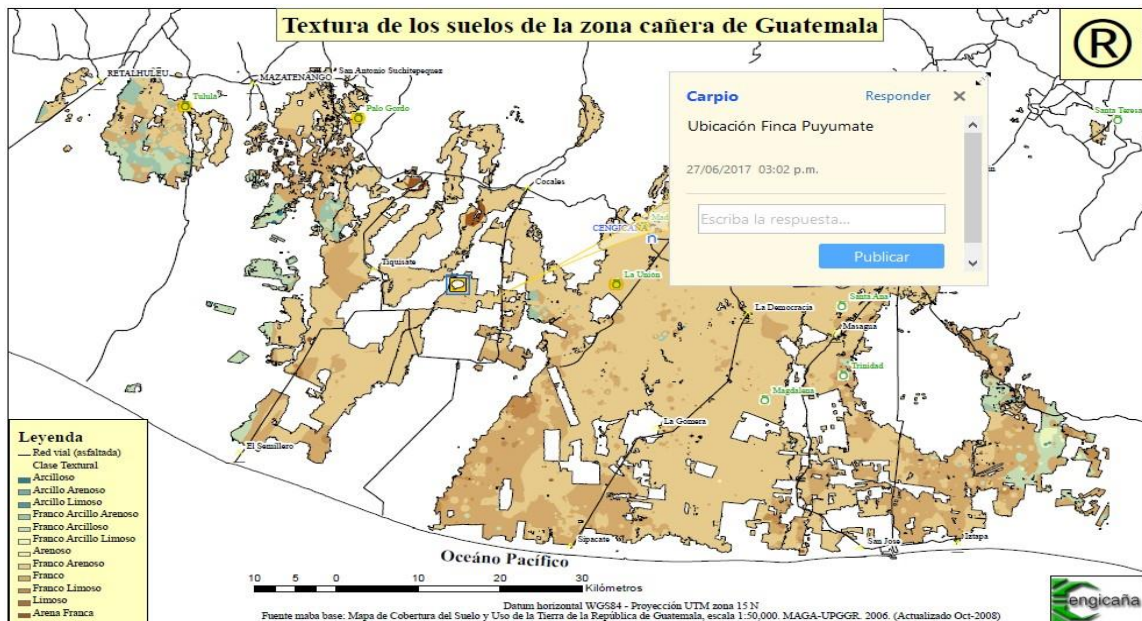


FIGURA 12 MAPA TEXTURAL DE SUELOS DE LA ZONA CAÑERA DE GUATEMALA

Fuente: CENGICAÑA

3.2.2 Levantamiento Topográfico

La topografía del área fue determinada mediante un levantamiento topográfico realizado por el Ingeniero Agrónomo Carlos Luis Suárez, quien usó una estación total que permitiera definir los linderos del terreno y obtener las curvas de nivel del mismo. Además con este estudio se determinaron zonas, como drenajes y pequeños riachuelos, en las que no se puede colocar tubería o en las cuales es necesario realizar una pequeña estructura para permitir el paso del agua hacia un determinado sector.

3.3 Diseño Agronómico

Para determinar el espaciamiento y el método de siembra a utilizar en el proyecto, se consultaron varios estudios realizados por destacados investigadores quienes son expertos en el estudio del cultivo de la caña de azúcar.

La lámina requerida por el cultivo es igual a la lámina bruta, por lo que se debe conocer el valor de la lámina neta (que se considera igual a la evapotranspiración del cultivo, por lo que el cálculo de esta viene también dado por la ecuación (2)), y también la eficiencia del sistema de riego que se va a implementar. Luego el cálculo de esta lámina viene dado por la ecuación (3).

$$Lb = \frac{Ln}{Efi} \quad (3)$$

Dónde:

Lb: lámina bruta (mm)

Ln: lámina neta (mm)

Efi: eficiencia del tipo de riego a usar

Para el cálculo de la intensidad de aplicación es necesario conocer el dato del caudal del emisor, y también el área que va a ser regada por este. Dónde el área de influencia del emisor viene dada por la ecuación (4).

$$A = Eh * El \quad (4)$$

dónde:

A: área de influencia del emisor (m²)

Eh: espaciamento entre hileras de plantas (m)

El: espaciamento entre líneas de emisores (m)

Teniendo en cuenta lo anterior, la intensidad de aplicación viene dada por la ecuación (5).

$$I = \frac{q}{A} \quad (5)$$

Dónde:

I: intensidad de aplicación (mm/h)

q: caudal del emisor (l/h)

A: área de influencia del emisor (m²)

Posteriormente se procede a realizar el cálculo del tiempo de riego necesario para el proyecto, este se determina con la ecuación (6).

$$Tr = \frac{Lr}{I} \quad (6)$$

Dónde:

Tr: tiempo de riego (h/día)

Lr: lámina requerida por el cultivo (mm/día)

I: intensidad de aplicación (mm/h)

El proyecto cuenta con 22 horas disponibles por día para poder realizar el riego. Este es un valor que ya estaba establecido por el productor que es dueño de la propiedad en la que se desarrolló el presente trabajo.

Luego para calcular el número de turnos necesarios, se utiliza la ecuación (7).

$$Num.Tur = \frac{h. dis}{Tr} \quad (7)$$

Dónde:

Num.Tur: números de turnos de riego

h.dis: horas disponibles de riego al día (h/día)

Tr: tiempo de riego (h/día)

De manera que para asignar el área correspondiente a cada turno, se divide el área total en 5 sectores de riego que tengan un área lo más uniforme posible.

Para obtener el valor del caudal del sistema se relaciona el área con la lámina aplicada en determinada área, la cual viene dada por la siguiente equivalencia:

$$1 \frac{mm}{día} = 1 \frac{l}{m^2} = 10 \frac{m^3}{ha} \quad (8)$$

De manera que el caudal del sistema va a venir dado por la ecuación (9).

$$Q_{sis} = \frac{A * LrA}{Hdis} \quad (9)$$

Dónde:

Q_{sis}: caudal del sistema (m³/h-ha)

A: área en la que se calcula el caudal (ha)

Hdis: horas disponibles al día (h)

LrA: lámina requerida por el cultivo en el área (m³/ha)

Luego también es necesario obtener el caudal necesario por hectárea, el cual viene dado por la ecuación (10).

$$Q_{ha} = \frac{100}{Eh} * \frac{100}{El} * \frac{q}{1000} \quad (10)$$

Dónde:

Q_{ha}: caudal por hectárea (m³/h-ha)

Eh: espaciamiento entre hileras de plantas (m)

El: espaciamiento entre líneas de emisores (m)

q: caudal del emisor (litros)

3.4 Diseño Hidráulico

Una de las herramientas de más ayuda para todo el proceso de diseño del proyecto fue el AutoCAD 2014, ya que en este se dibujó el trazo preliminar de toda la red, lo cual fue la base para realizar los cálculos posteriores de tuberías, cintas de goteo, válvulas, y demás componentes del sistema.

3.4.1 Diseño de las tuberías de goteo

Para este proyecto se decide usar la tubería de goteo Dripnet 16125 de la marca NETAFIM, cuyas características se encuentran en el anexo 1. Esto debido a que el cliente solicitó que el diseño se hiciera de tipo autocompensado, y además por las características presentes en la textura del suelo, el espaciamiento entre emisores que posee esta manguera es el óptimo para garantizar una buena uniformidad en los bulbos de humedecimiento que se presenten al momento de poner a trabajar el sistema.

3.4.2 Diseño de tubería secundaria y bloques de riego

Para realizar el diseño de la tubería secundaria, se hace uso del método de Hazen-Williams para tubería con salidas, para lo cual se despeja el diámetro como se muestra en la ecuación (11).

$$D = \left(\frac{1.131 \times 10^9 * Q^{1.852} * L * F}{H_f * C^{1.852}} \right)^{0.205} \quad (11)$$

Dónde:

- D: diámetro del divisor (mm)
- Q: caudal que pasa por la tubería (m³/h)
- L: longitud de la tubería (m)
- F: coeficiente de salidas de la tubería (m)
- H_f: pérdidas en la tubería (m)
- C: coeficiente adimensional del material

Luego para definir el área de los bloques de riego de cada turno, se toman en cuenta principalmente dos factores que son el largo de la cinta de goteo a utilizar, y el ancho de las calles que se requiere en el terreno. Esto último es de suma importancia ya que la medida de las

calles debe ser correcta para que permitan en el campo el movimiento de la maquinaria agrícola (tractores, cosechadoras, implementos, entre otros) según su radio de giro. Además al momento de asignar las áreas de estos bloques se tomó en cuenta la ubicación de los drenajes naturales y artificiales que están presentes en el terreno.

Luego para determinar el diámetro de las tubería secundaria, se usó el programa HydroCalc, esto porque en las 332 ha del terreno se requieren instalar una cantidad muy grande de tubería secundaria, y realizar el cálculo de esta sin el uso de un programa computacional requeriría de un tiempo muy largo en los cálculos para su obtención. La interfaz de dicho programa se muestra en la Figura 13.



FIGURA 13 INTERFAZ DEL HYDRO CALC

Fuente: HYDRO CALC

Una vez en el programa, se ingresa a la pantalla mostrada en la Figura 14. Aquí se elige la opción para que realice los cálculos con la ecuación de Hazen-Williams y se procede a agregar los datos que requieren las casillas marcadas con rojo.

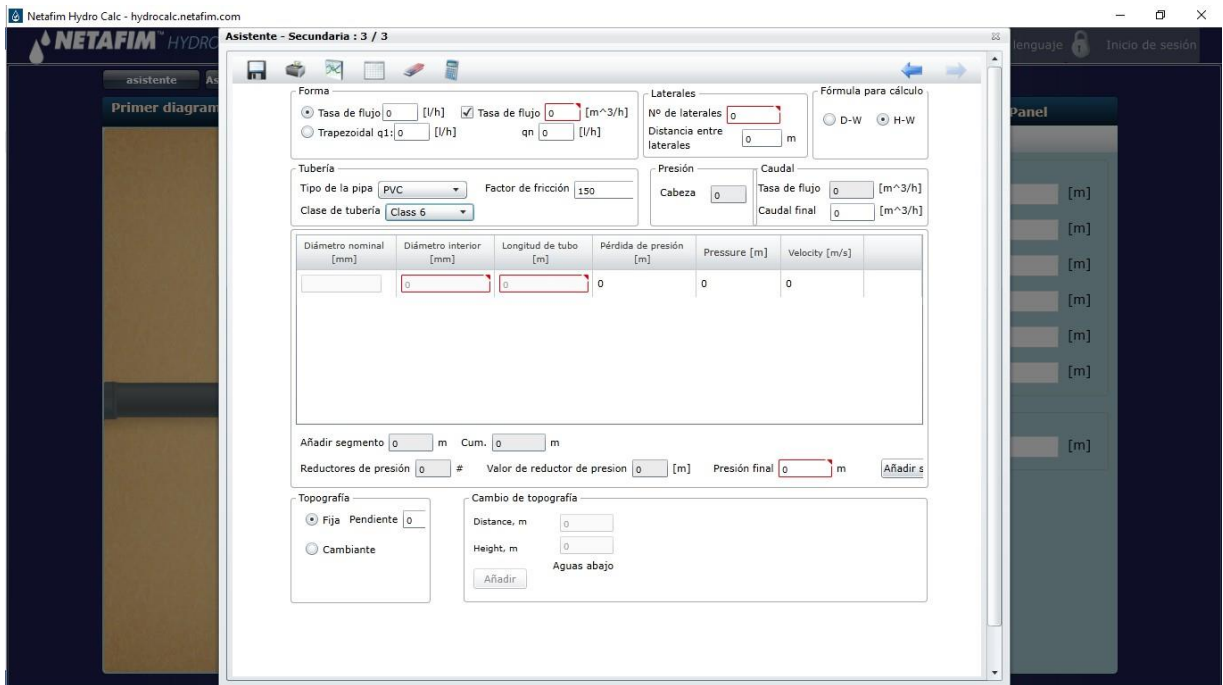


FIGURA 14 INTERFAZ DE DATOS DE ENTRADA EN HYDRO CALC

Fuente: HYDRO CALC

El cálculo se realizó para cada uno de los bloques de riego, en los cuales se determinó el sector del área a calcular, el caudal que requería llevar la tubería para dicho sector, el número de laterales que irían conectados en cada tubería, y la longitud de dicho tramo de tubería (todo lo anterior mediante el uso del AutoCAD). Además se definió que la presión al final debía ser de 16 m, y que a lo largo del tramo de tubería las pérdidas de presión no podían superar los 2 m, esto para asegurarse que todas las líneas de goteros tengan las condiciones necesarias para funcionar correctamente, esto a su vez asegura la uniformidad del riego a aplicar.

Un ejemplo de lo anterior se muestra en la Figura 15. Este muestra el cálculo de tubería secundaria para el área de la válvula 37.

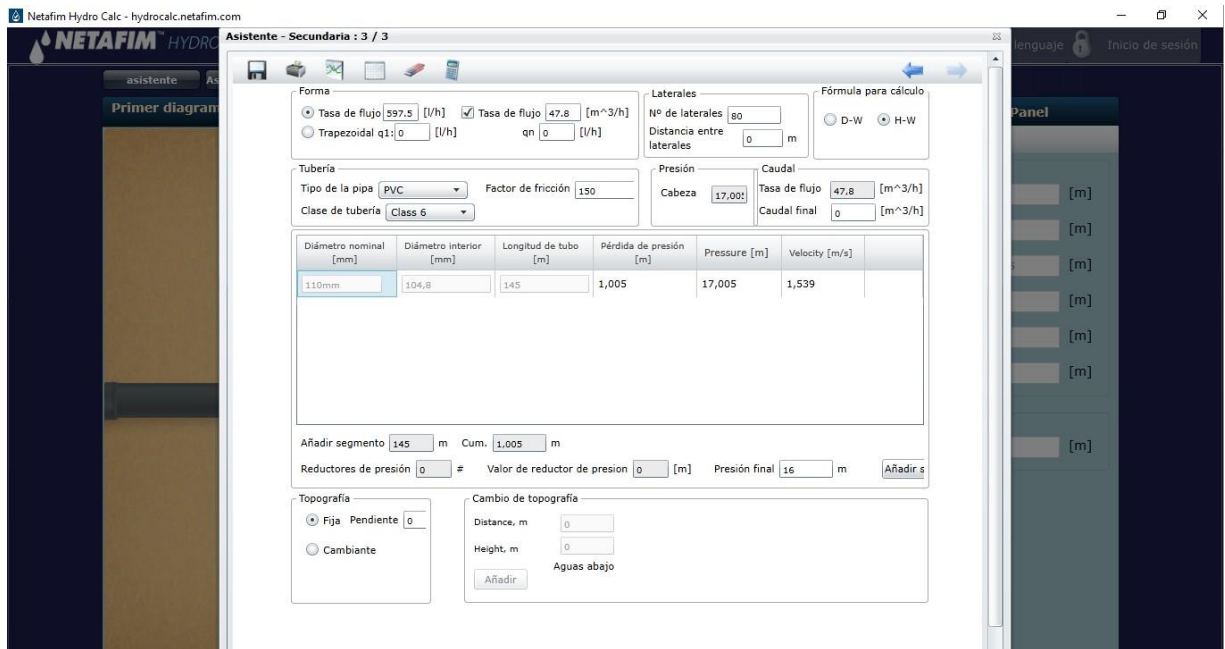


FIGURA 15 INTERFAZ DE DATOS DE SALIDA PARA LA VÁLVULA 37

Fuente: HYDRO CALC

3.4.3 Diseño de la tubería principal

Para diseñar la tubería principal, se usó el software informático WaterCAD V8i, que permite realizar cálculos de varios parámetros hidráulicos, en este caso específico se utilizó para obtener el dato del diámetro de la tubería principal que se requiere para satisfacer las condiciones del sistema.

Lo anterior se logró importando un archivo de AutoCAD el cual contenía el trazo del diseño previo de la distribución de la tubería principal. Luego se ingresaron los datos de longitud y altura de cada tubería, y del caudal que requería cada nodo de salida (cada nodo representa una válvula de cada bloque). Posteriormente se ingresó en el programa la restricción de que la velocidad máxima en las tuberías debía ser de 2 m/s, esto permitió asignar un diámetro mayor en las tuberías que presentaran una velocidad mayor a la permitida.

3.4.4 Diseño de las válvulas reguladoras

Para definir el diámetro de la válvula reguladora que se debe instalar en cada bloque de riego, se tomó en cuenta el área del bloque y el caudal por hectárea definido previamente. De esta manera, el caudal de cada bloque viene dado por la ecuación (12).

$$Q_{blo} = A_{blo} * Q_{ha} \quad (12)$$

Dónde:

Q_{blo} : caudal del bloque de riego (m^3/h)

A_{blo} : área del bloque de riego (ha)

Q_{ha} : caudal por hectárea (m^3/h)

Una vez conocido el caudal de cada bloque de riego, se asigna el diámetro de la válvula que va en cada uno sabiendo que:

- a) Para caudales menores a $30 m^3/h$ la válvula requerida es de 2 pulgadas
- b) Para caudales entre 30 y $60 m^3/h$ la válvula requerida es de 3 pulgadas
- c) Para caudales entre 60 y $100 m^3/h$ la válvula requerida es de 4 pulgadas

Dichas válvulas son de la marca Dorot de las series 75 y 96, las especificaciones técnicas se encuentran en el anexo 4.

Se procuró colocar las válvulas a la mitad de las tuberías secundarias, ya que esto implica la utilización de una tubería de un diámetro menor porque el caudal transportado es menor, y esto a su vez lleva a una disminución de los costos del proyecto. Las válvulas también se pudieron colocar en las cotas más altas de cada bloque para ganar energía por diferencia de altura, pero al ser un terreno con una pendiente relativamente baja, no es mucho lo que se logra ganar.

Además se realizó la modelación de las válvulas en el WaterCAD para corroborar que las presiones que llegaran a cada una de las válvulas sea la correcta, y no tener así problemas con exceso o falta de presión que pudiera originar un fallo cuando el sistema inicie operaciones.

3.5 Plan de Operación

El plan de operación se realizó tomando en cuenta factores agrometeorológicos y datos del diseño agronómico.

Se definió el número de días que dura cada época de desarrollo del cultivo, así como los meses de cada una.

Luego del manual de la FAO “Evapotranspiración del Cultivo”, se obtuvo un estimado del K_c del cultivo para cada una de las etapas de desarrollo del cultivo. Y gracias al CLIMWAT y el CROPWAT se pudieron obtener los datos de evapotranspiración de referencia y precipitación para cada uno de los meses. Esto permitió realizar un balance hídrico mensual que permite observar los meses críticos en los que se requiere aplicar el riego y en cuales no se necesita. Con los datos de este balance y utilizando la eficiencia del sistema de riego por goteo se obtiene la lámina bruta requerida por el cultivo.

Con la intensidad de riego ya conocida, se procede a obtener el tiempo de riego, y a su vez con este dato y conociendo el número de turnos, se calcula el número de horas de riego por día.

Luego teniendo en cuenta la intensidad de aplicación del sistema, y el número de horas de riego por día se calcula la lámina a aplicar para el número de turnos de riego.

Finalmente se obtiene la frecuencia de riego tomando en cuenta la lámina a aplicar y la lámina bruta.

3.6 Plan de Riego

El plan de riego viene dado por ajustes en el plan de operación tomando en cuenta la lámina requerida por el suelo. Este plan se realizó para los meses que el plan de operación indica que se debe de aplicar el riego.

Teniendo en cuenta que la lámina se puede aplicar de diferentes maneras, se optó por regar un turno de riego el número total de horas de riego diarias, y a partir de ahí regar los demás según la frecuencia de riego. Lo anterior también tomando en cuenta el valor de la lámina requerida por el suelo, así que el plan propuesto es tal que la lámina aplicada no sobrepasa la requerida por el suelo.

3.7 Diseño del cuarto de riego (bomba, filtros)

Siguiendo la recomendación de departamento de diseño de la empresa para la que se desarrolló el diseño, para escoger la bomba a utilizar se usó la página de Berkeley, ya que ellos cuentan con el BEC2, que es una aplicación que permite seleccionar modelos de bombas adecuadas para condiciones de carga y caudal que el usuario debe haber establecido previamente.

El número de filtros necesarios para el sistema, se obtuvo mediante el manual de operación de la marca ODIS. En este manual se encuentran cuadros que indican el caudal requerido para cada tipo de filtro que se ofrece, por lo que se seleccionó el modelo de filtro de grava y cantidad a implementar de acuerdo al caudal máximo de cada turno en cada una de las dos operaciones de riego.

3.8 Caseta de fertirriego

En cuanto al fertirriego, la empresa solicitó instalar por cada 50 ha de terreno un tanque de fertilizante de 5.000 L, esto para que el sistema funcione adecuadamente, y además se permite que en caso de que se presente una falla o se necesite lavar alguno de los tanques, se pueda usar alguno de los otros como respaldo para tratar de no detener el proceso por un tiempo prolongado que pueda llegar a afectar la uniformidad y calidad de la producción. Además se solicitó instalar un tanque para premezcla de 1.000 L.

3.9 Análisis Ambiental

Para realizar el análisis ambiental se llevó a cabo una matriz de Leopold. En esta se analizan aspectos susceptibles a producir impacto sobre los medios de geología, suelo, agua, aire y paisaje del lugar del proyecto.

Se consideraron los factores que pueden llegar a afectar al ambiente durante todo el proceso de vida del proyecto. Dichos factores se calificaron de 1 a 10 según su magnitud (pueden ser números negativos), y su importancia en el proyecto. Al final se suman todas las iteraciones y se analiza si el resultado final produce o no, un considerable impacto en el ambiente del lugar del proyecto.

Este análisis se realizó para las fases de diseño y ejecución del proyecto, por lo que no se consideran factores posteriores a la finalización del ciclo del proyecto.

3.10 Análisis Financiero

Para el análisis económico de este proyecto, se consultó a varios cañeros que cuentan con amplia trayectoria y experiencia en este campo. Con la información obtenida, se decide realizar un análisis de sensibilidad basado en el aumento incremental de la producción debido al efecto de la nueva tecnología. Para eso se generó un flujo de caja en Excel, que permite observar como varían la utilidad del proyecto, y sus indicadores financieros VAN y el TIR para un periodo de seis años (el ciclo de producción de la caña de azúcar es de 6 cortas). En este flujo se considera el incremento en los ingresos económicos producto al aumento en la producción de la azúcar debido al fertirriego, neteados con respecto a los costos operativos concernientes al sistema.

Para generar este flujo, se consideraron los siguientes supuestos:

1. El proyecto no es financiado, inversión total en año 0
2. Se considera una inversión inicial del proyecto llave en mano de \$3.000 por hectárea
3. Se asume un valor de combustible de \$0,82 por litro
4. Se asume un Corte Alza Transporte (CAT) de \$10 por tonelada
5. Se asume factor de conversión de azúcar de 10% con respecto al peso de caña planta
6. Se asume un valor de azúcar de \$0,15 por libra (\$0,33 por kilogramo)
7. Se asume un incremental en la producción 50 Ton/ha (5 kg/m²)

3.10.1 Análisis de ingresos (producto de la tecnología)

Debido a la variabilidad en los componentes que influyen en el costo del proyecto, fue necesario establecer parámetros que brindan un margen de decisión importante, los cuales fueron:

1. Se estima que un área sin riego es capaz de producir 60 ton/ha de caña de azúcar, por el contrario si el área cuenta con riego es capaz de llegar a las 110 ton/ha. Tomando en cuenta lo anterior se puede obtener un diferencial de ingresos. Para esto se considera que se obtiene un 10% de azúcar por cada hectárea de caña, por lo que se aplica la ecuación (13).

$$Praz = prca * 10\% \quad (13)$$

Dónde:

Praz: producción de azúcar (ton azúcar/ha)

prca: producción de caña (ton/ha caña)

El precio más bajo de azúcar en los últimos dos años fue de 0,15 \$/lb (Bigcharts, 2017), y sabiendo que una tonelada equivale a 2.200 libras, se obtiene el ingreso por hectárea de azúcar con la ecuación (14).

$$Ingr = Praz * coslib * 2200 \quad (14)$$

Ingre: ingreso por azúcar (\$/ha)

Praz: producción de azúcar (ton azúcar/ha)

coslib: costo de azúcar por libra (\$/lb)

2200: equivalencia (lb/ton)

Ahora se puede obtener un diferencial de ingresos entre las dos situaciones aplicando la formula ecuación (15).

$$\Delta Ingre = Ingre110 - Ingre60 \quad (15)$$

Δ Ingre: diferencial de ingreso de azúcar (\$/ha)

Ingre110: ingreso de azúcar para un rendimiento de 110 Ton/ha (\$/ha)

Ingre60: ingreso de azúcar para un rendimiento de 60 Ton/ha (\$/ha)

3.10.2 Costos asociados a la implementación del proyecto (tecnología)

Se puede obtener un diferencial de producción mediante la ecuación (16).

$$\Delta Pro1 = Are - Anr \quad (16)$$

Dónde:

$\Delta Pro1$: diferencial de producción (ton/ha)

Are : producción en área regada (ton/ha)

Anr : producción en área sin riego (ton/ha)

Debido a que esta diferencia para ser transformado en azúcar debe ser llevado al ingenio se le debe aplicar el costo CAT (corta, alza, transporte) para obtener el valor en dólares por hectárea de egreso por concepto de transformación usando la ecuación (17).

$$Costo\ CAT = \Delta Pro1 * CAT \quad (17)$$

Dónde:

Costo CAT: Costo CAT (\$/ha)

$\Delta Pro1$: diferencial de producción (ton/ha)

CAT: costo de corta, alza y transporte (\$/ton)

2. El otro factor a analizar es el de operación del sistema, que básicamente viene dado por la operación del motor, y por el pago de los operarios.

Se debe saber la potencia necesaria por el motor a 1.800 rpm que viene dada por la ecuación (18).

$$Hpm = \left(\frac{Q * CDT}{270 * Ef} \right) * 1,15 \quad (18)$$

Donde:

Hpm : potencia del motor (hp)

Q = caudal de la bomba (m³/h)

CDT = carga dinámica total de la bomba (mca)

Ef = eficiencia de la bomba (%)

Se usará un motor John Deere 6068TF250, cuya curva de trabajo está en el anexo 5, aquí se indica que el consumo de este para 1.800 rpm es de 0,348 lb/hp-h. Con esto se calcula el consumo de combustible en litros por hora con la ecuación (19).

$$Con. h = con. lb * den. flu. * fac. con * Hpm \quad (19)$$

Donde:

Con.h= consumo de combustible (l/h)

con.lb= consumo de combustible en libras (lb/hp-h)

den.flu= densidad del fluido (l/kg)

fac.con= factor de conversión (kg/lb)

Hpm: potencia del motor (hp)

Con lo anterior, y conociendo el número de horas de operación por año (se especifica en el anexo 8) se obtiene el costo de combustible por año con la ecuación (20):

$$Co. año = Con. h * hor. año * val. com \quad (20)$$

Donde:

Co.año: costo de combustible por año (\$/año)

Con.h: consumo por hora (lts/h)

hor.año: horas de trabajo al año (h/año)

val.com: valor del combustible (\$/lts)

Finalmente se sabe que con una bomba se regaran aproximadamente 166 ha, por lo que se puede obtener el costo de operación del motor por hectárea usando la ecuación (21):

$$Con. ha. año = \frac{Co. año}{A. bom} \quad (21)$$

Donde:

Con.ha.año= costo de operación del motor por hectárea por año (\$/ha-año)

Co.año: costo de combustible por año (\$/año)

A.bom= área de bombeo del sistema (ha)

Finalmente se requieren \$50 por hectárea en concepto de operario.

Ahora se procede a estimar el ingreso por hectárea por año, tomando en cuenta el diferencial de ingreso de azúcar, el diferencial de producción, y los gastos operativos tomando en cuenta la mano de obra. Por lo que este ingreso viene dado por la ecuación (22).

$$Ing. ha. año = \Delta Ingre - \Delta Pro2 - (Cos. ha. año + Opera) \quad (22)$$

Donde:

Ing.ha.año= ingreso por hectárea por año (\$/ha-año)

Δ Ingre: diferencial de ingreso de azúcar (\$/ha)

Δ Pro2: nuevo diferencial de producción (\$/ha)

Cos.ha.año= costo de operación del motor por hectárea por año (\$/ha-año)

Opera: gasto en operarios (\$/ha-año)

Finalmente con la ecuación (23) se calcula el tiempo de recuperación de la inversión, sabiendo que la inversión por hectárea del proyecto fue de \$3.000.

$$RI = \frac{II}{Ing. ha. año} \quad (23)$$

Donde:

RI= recuperación de la inversión (años)

II= inversión inicial (\$/ha)

Ing.ha.año= ingreso por hectárea por año (\$/ha-año)

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los procedimientos descritos en la metodología, permitieron obtener los valores de los parámetros establecidos para poder iniciar con el diseño del proyecto, dichos valores se presentan a continuación:

4.1 Datos Meteorológicos y Estudios básicos

En el Cuadro 3, se presentan los resultados obtenidos luego de realizar los análisis que corresponden a datos meteorológicos y estudios básicos del área en estudio.

CUADRO 3 RESULTADOS DE ESTUDIOS BÁSICOS DE LA FINCA PUYUMATE

ETo (mm/día)	4,5
Kc	1,2
Eficiencia del sistema (%)	90,0
Etc (mm/día)	6,0
Textura	Franco Arenosa

De lo anterior se desprende que al considerar una eficiencia del sistema de goteo del 90%, el requerimiento hídrico del cultivo será de 6 mm/día, dicho resultado es el esperado debido a las condiciones climatológicas y geográficas del área del proyecto. A partir de aquí se inicia con todo el diseño agronómico del sistema.

Además se puede deducir que el resultado en la textura del suelo, es coincidente con la presencia del río que pasa colindante a la finca en estudio, ya que este le aporta material arenoso al terreno en eventos de desborde del mismo.

4.2 Diseño Agronómico

En el Cuadro 4, se presentan los resultados obtenidos luego de realizar el diseño agronómico para este proyecto.

CUADRO 4 RESULTADOS DEL DISEÑO AGRONÓMICO

Intensidad de aplicación (mm/h)	1,38
Frecuencia de riego (días)	2
Tiempo disponible al día (h)	22
Tiempo de riego (h/día)	4,3
Número de Turnos	5,0
Lámina requerida en 1 ha (m³/ha)	60,0
Caudal del sistema (m³/h-100ha)	272,7
Caudal por hectárea (m³/h)	13,9

4.3 Planos

Los resultados del análisis de distribución de tuberías, curvas de nivel, drenajes, válvulas, bloques de riego y turnos de riego se muestran a continuación.

La Figura 16, muestra el resultado obtenido en el levantamiento topográfico para la obtención de las curvas de nivel.

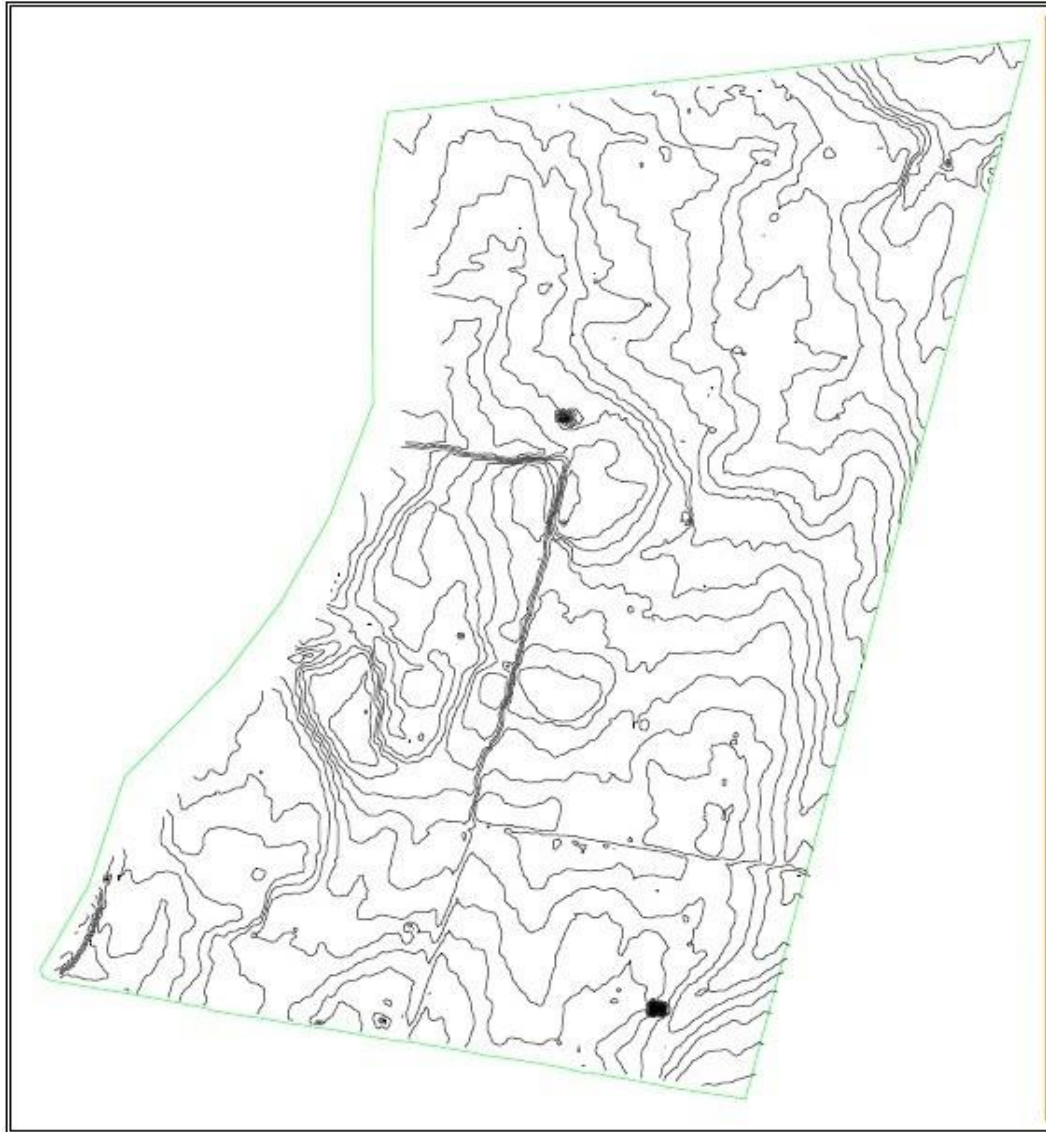


FIGURA 16 PLANO DE CURVAS DE NIVEL FINCA PUYUMATE

Elaborado con: AutoCAD 2014

Mientras que la Figura 17 (tomada de Google Earth), permite apreciar el comportamiento de las curvas de nivel en el área en la que se va a realizar el diseño.

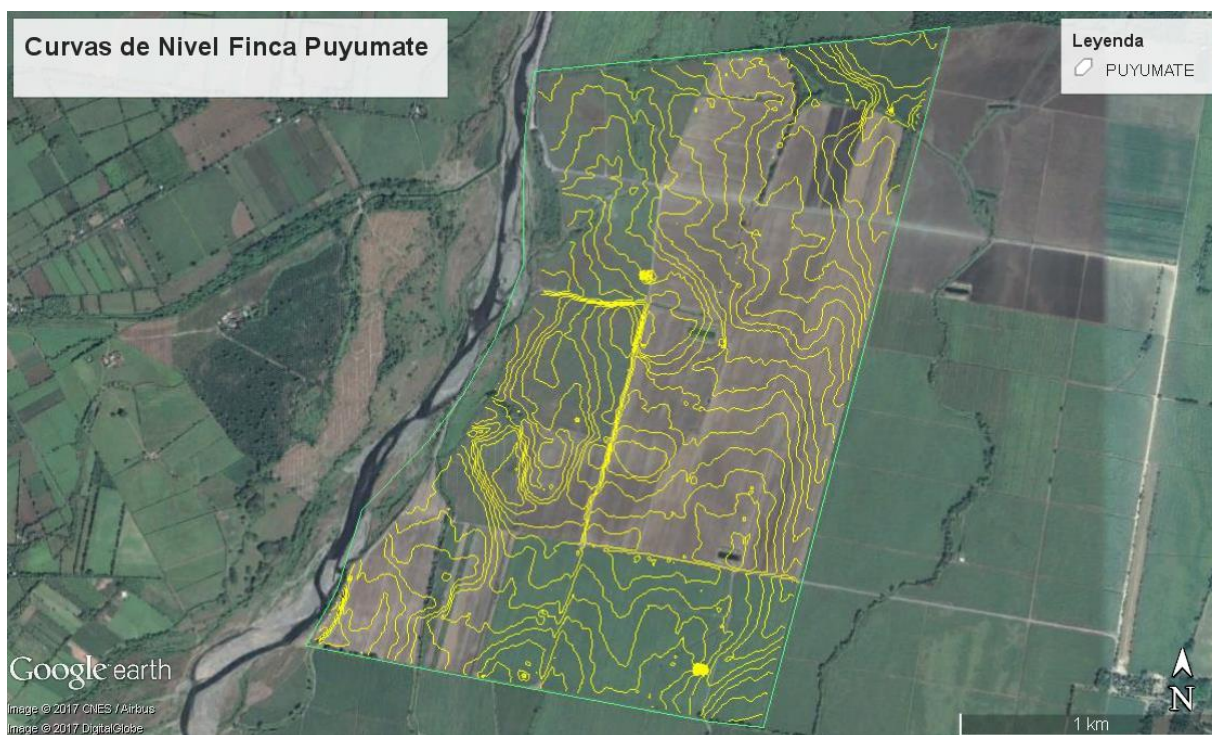


FIGURA 17 COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE NIVEL EN FINCA PUYUMATE

Elaborado con: Google Earth

Se determinaron elevaciones y longitudes máximas y mínimas en el terreno, lo que a su vez permitió determinar la pendiente promedio del terreno. Los resultados se resumen en el Cuadro 5.

CUADRO 5 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS FINCA PUYUMATE

Área (ha)	332
Distancia longitudinal max (m)	2.790
Distancia longitudinal mín (m)	2.340
Distancia transversal max (m)	1.774
Distancia transversal min (m)	1.520
Elevación máxima (msnm)	0.090
Elevación mínima (msnm)	0.076
Pendiente promedio (%)	0,35

La pendiente del terreno obtenida fue importante para poder determinar la longitud máxima de las cintas de goteo a instalar, ya que como se muestra en el anexo 1, este es un parámetro que influye en el correcto funcionamiento del sistema, ya que si se instala una longitud mayor a la que en realidad se requiere, se corre el riesgo de que el agua no llegue a los últimos goteros de la línea, y esto a su vez va a afectar la uniformidad de riego y la producción deseada. Por lo que para el diseño, las cintas de goteo se definieron con una longitud máxima de 240 m.

Además, como se muestra en la Figura 18, el levantamiento topográfico permitió determinar las zonas en las cuales se encuentran drenajes (naturales o artificiales) que debieron ser respetados al momento de realizar la distribución de turnos y bloques de riego. Cabe destacar que en algunos sectores no se pudo evitar el paso de tubería por estas zonas, por lo que es necesario instalar pequeñas estructuras elevadas que permitan el paso de las mismas, y de esta manera, no afectar la distribución de agua en los bloques de la finca.

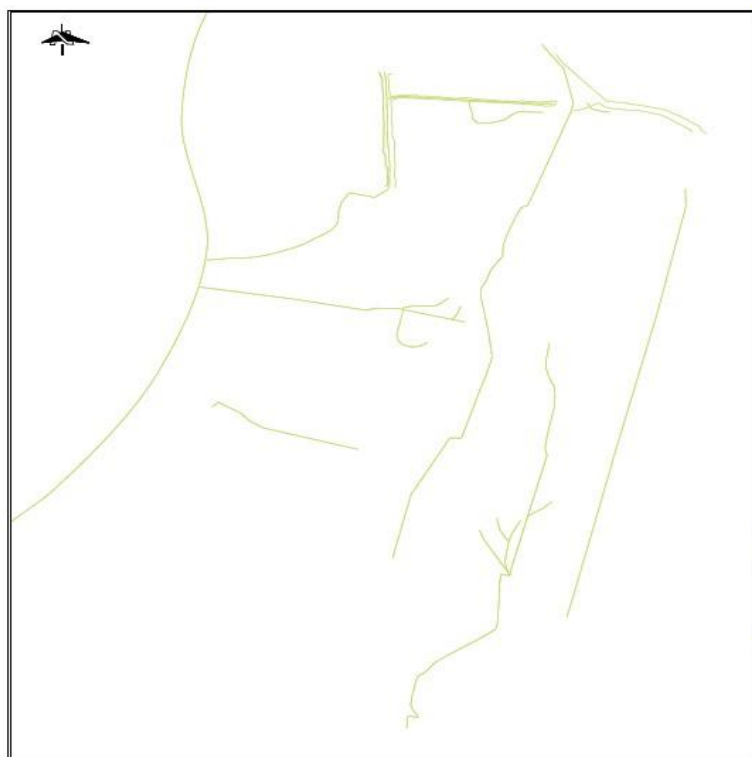


FIGURA 18. PLANO DE DESAGÜE PRESENTE EN EL TERRENO

Elaborado con: AutoCAD 2014

Como se muestra en la Figura 19, se generó el modelo de dirección del flujo de agua en el terreno. Se puede observar un comportamiento del agua a tender a viajar en dirección norte-sur, dirigiéndose hacia los drenajes que ya hay en el terreno, y en el sector izquierdo de la finca toma como drenaje natural el río contiguo al terreno. Por este se decide establecer el sentido de siembra en dirección norte-sur, ya que a pesar de que la teoría indica que debe ser este-oeste, la pendiente del terreno es muy baja para generar una velocidad erosiva. Además se facilitan las labores de mecanización, y se disminuye el número de drenes colectores que habría que instalar ya que los mismos surcos funcionarían como drenes primarios.

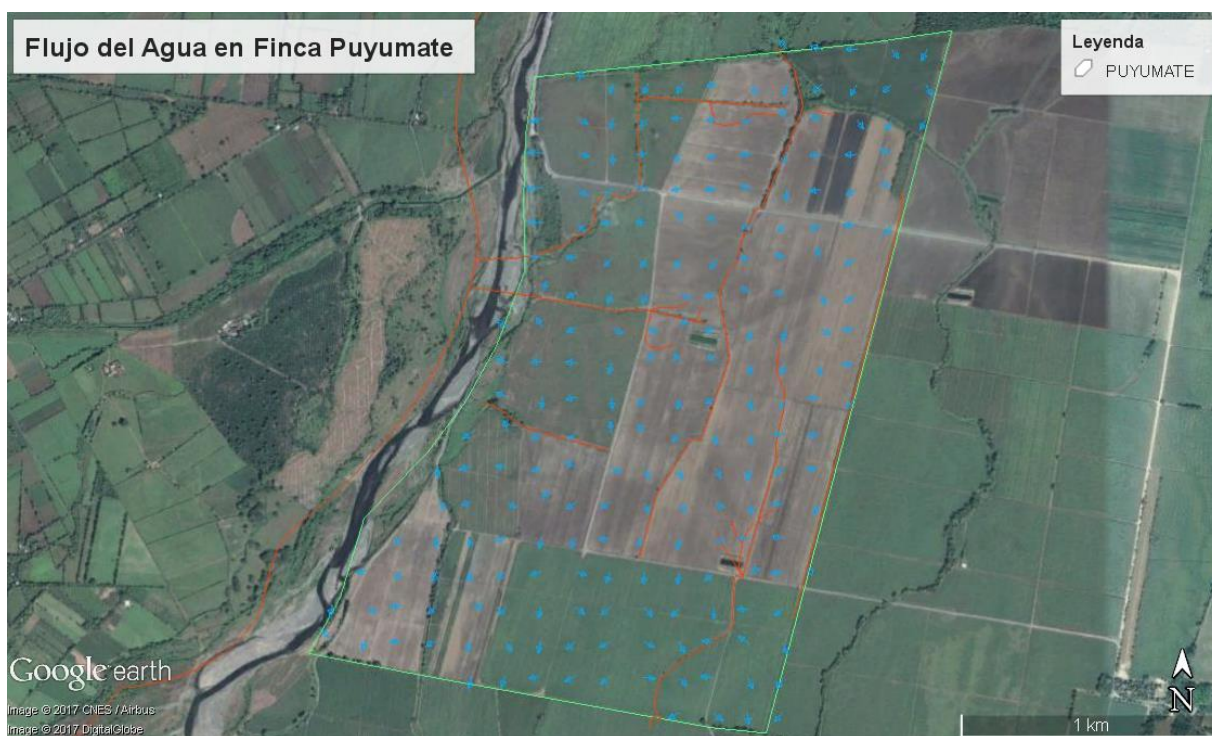


FIGURA 19 COMPORTAMIENTO DEL FLUJO DE AGUA EN FINCA PUYUMATE

Elaborado con: Google Earth

Se determinó que el área total de la Finca Puyumate es de 335,57 ha, y sabiendo que se requieren 5 turnos de riego, se estableció la sectorización mostrada en la Figura 20.

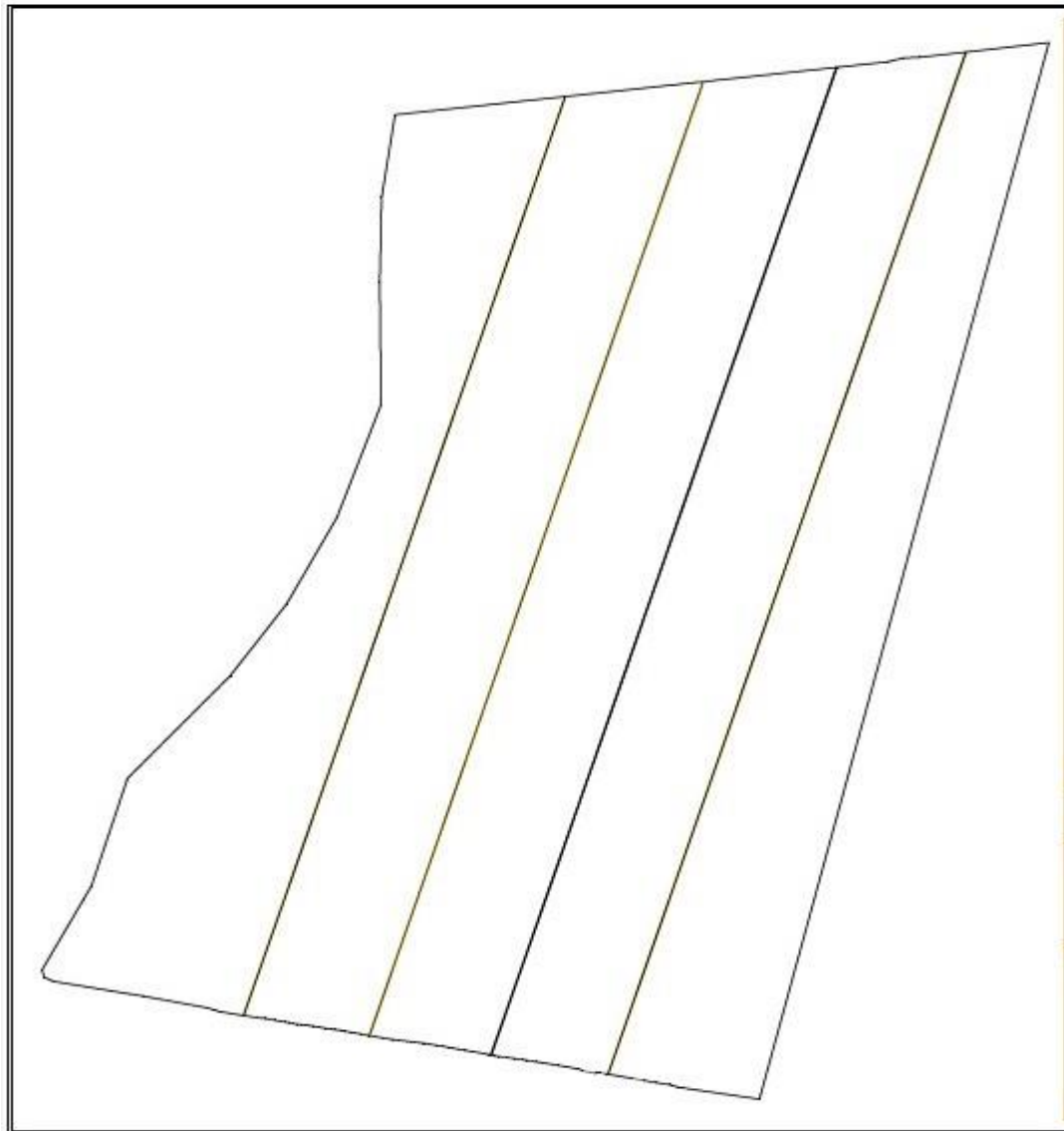


FIGURA 20 SECTORIZACIÓN DE LOS TURNOS DE RIEGO

Elaborado con: AutoCAD 2014

Para esta distribución inicial se tienen las siguientes áreas para cada turno:

- a) Turno 1: 76,7 ha
- b) Turno 2: 78,7 ha
- c) Turno 3: 78,2 ha
- d) Turno 4: 75,5 ha
- e) Turno 5: 77,3 ha

Luego tomando en cuenta que para que la maquinaria con la que cuenta el cliente no presentara problemas al momento de trasladarse por la finca con el radio de giro (principalmente para la cosecha) se debía dejar un ancho en calles perpendiculares de 7 m y en calles transversales de 10 m, y conociendo el largo de la cinta de goteo, se obtuvo la distribución de bloques de riego mostrada en la Figura 21.

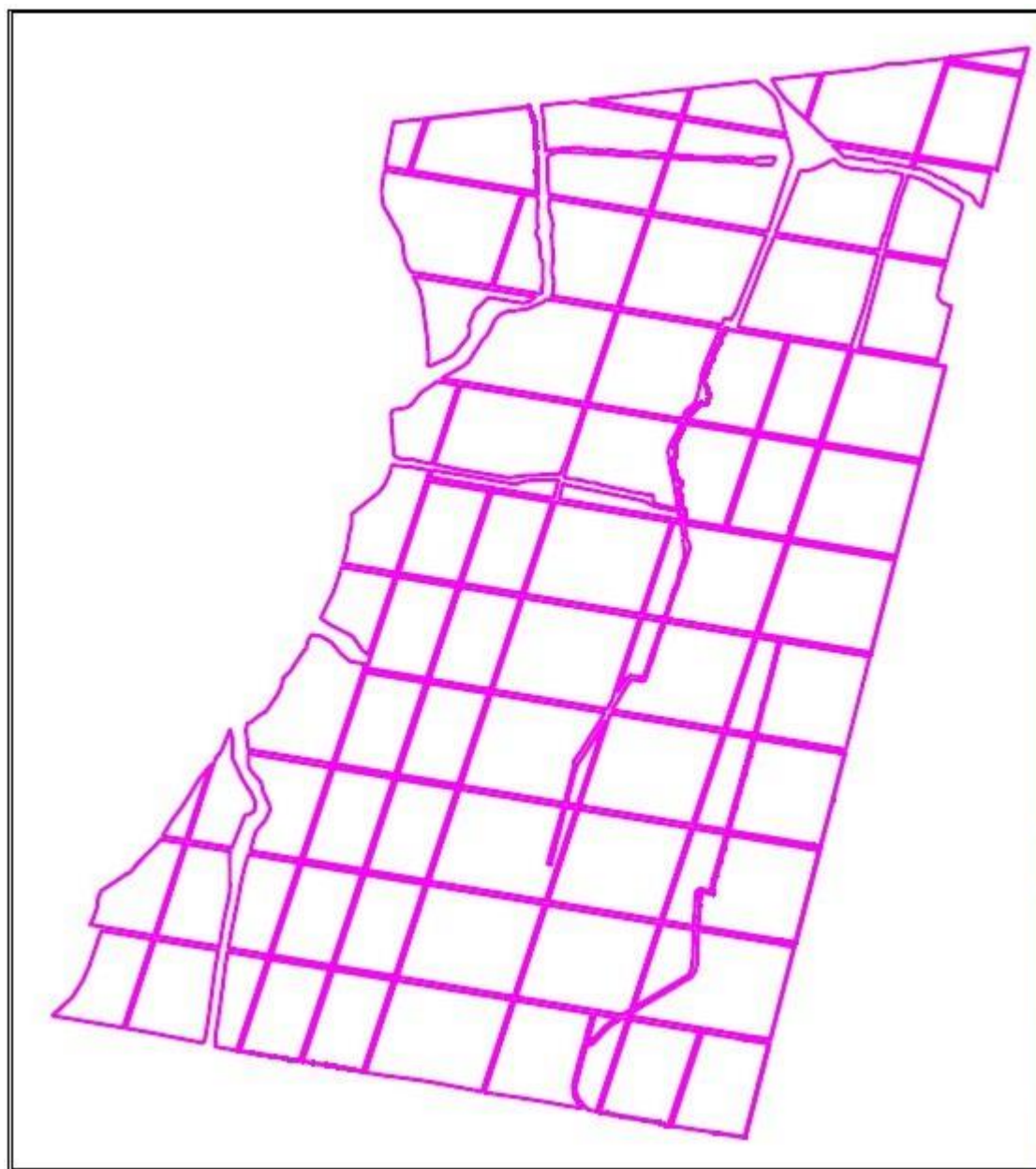


FIGURA 21 PROPUESTA DE LA DISTRIBUCIÓN DE BLOQUES DE RIEGO

Elaborado con: AutoCAD 2014

Además en la Figura 22, se muestra la asignación de los bloques para cada uno de los turnos de riego. Específicamente los colores representan:

- a) Amarillo: turno 1
- b) Verde: turno 2
- c) Azul: turno 3
- d) Rojo: turno 4
- e) Cyan: turno 5

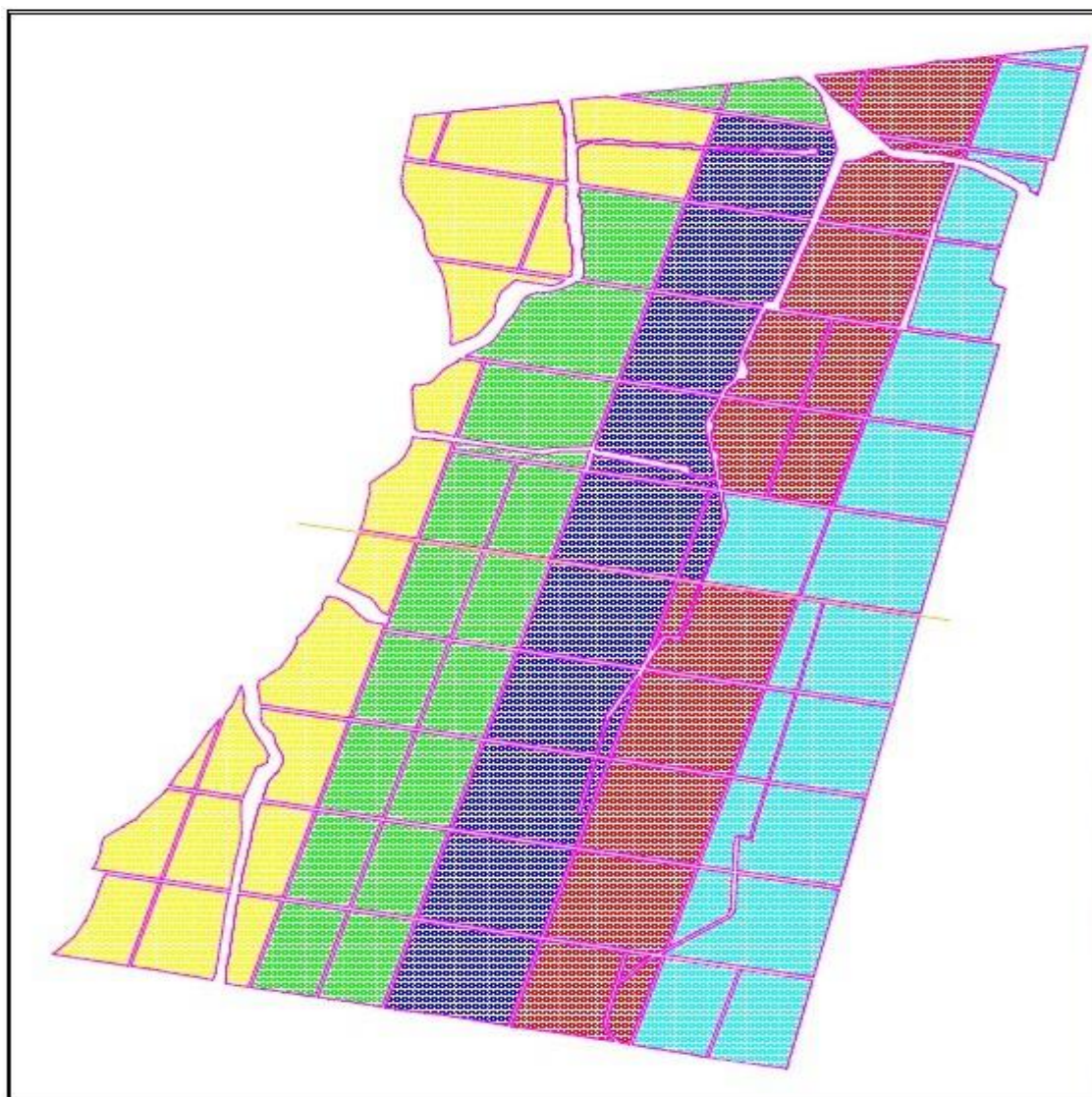


FIGURA 22. TURNOS DE RIEGO PROPUESTOS

Elaborado con: AutoCAD 2014

Por lo que se tendría que para cada turno de riego se requerirían los siguientes caudales:

- a) Turno 1: 1.066,13 m³/h
- b) Turno 2: 1.093,93 m³/h
- c) Turno 3: 1.086,98 m³/h
- d) Turno 4: 1.049,45 m³/h
- e) Turno 5: 1.074,47 m³/h

Los valores anteriores de caudal requerido para cada turno de riego son muy altos, esto implicaría tener que usar tuberías con diámetros mayores, y también se tendría que instalar en el sistema una bomba muy grande, que no es fácil de conseguir en el mercado, y además por las características de la misma el costo del proyecto se incrementaría considerablemente.

Para subsanar lo anterior se optó por dividir el área de riego en dos sectores, y trabajar a su vez con una bomba para cada uno, pero siempre manteniendo los 5 turnos de riego. Esto permite reducir la capacidad de la bomba que se requiere, y evitar instalar materiales que encarezcan el costo del proyecto. En las Figuras 23 y 24, se muestra la sectorización propuesta para cada bombeo.

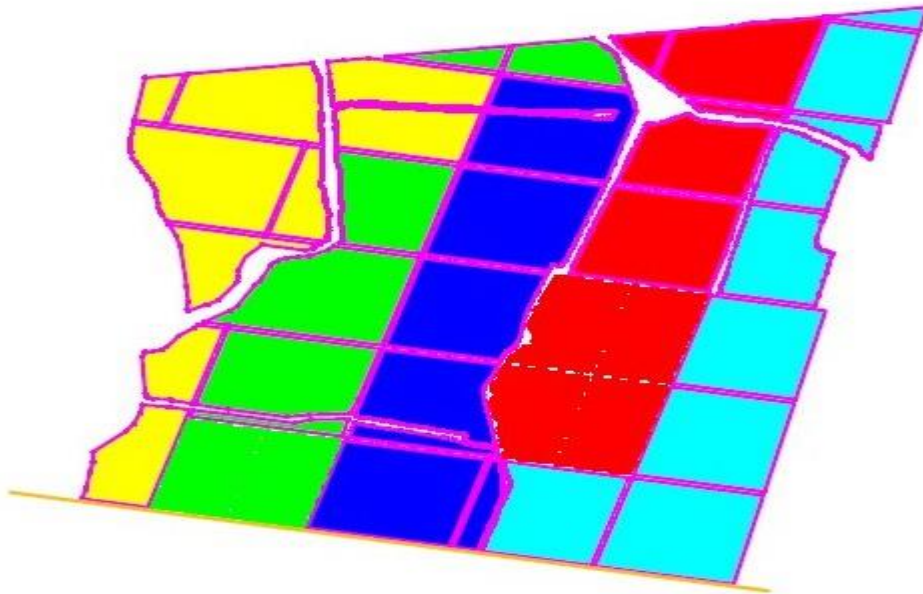


FIGURA 23 ÁREA DE RIEGO PARA EL BOMBEO 1

Elaborado con: AutoCAD 2014

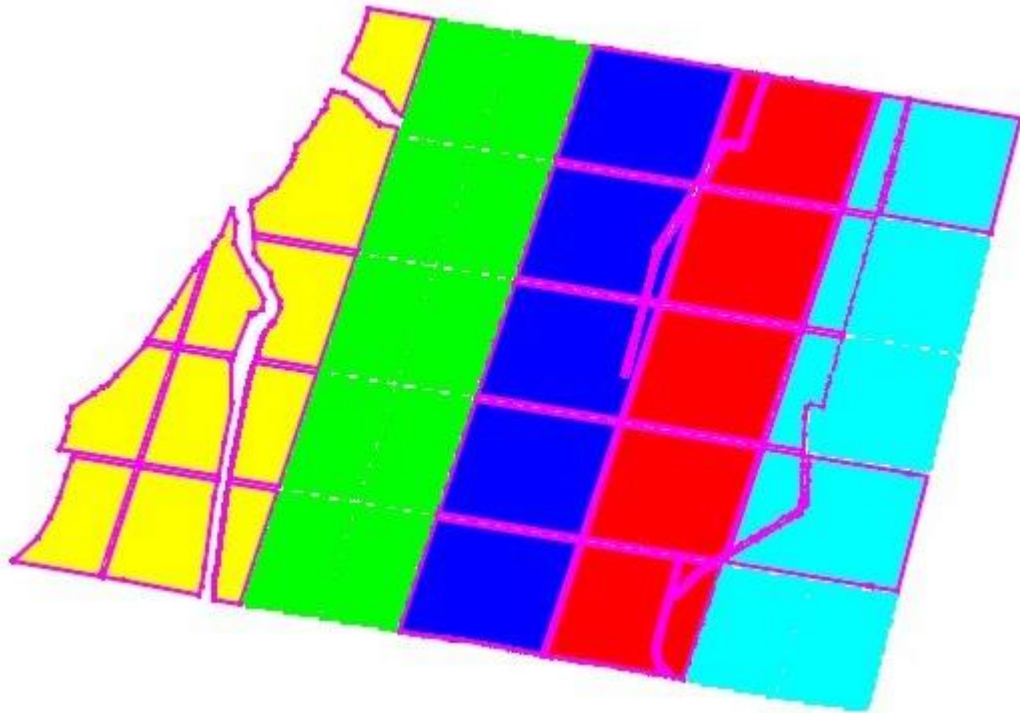


FIGURA 24 ÁREA DE RIEGO PARA EL BOMBEO 2

Elaborado con: AutoCAD 2014

Además se tuvo que instalar una válvula reguladora en cada bloque de riego. Si bien es cierto estas pueden ser instaladas en el sector del bloque con mayor elevación y aprovechar así la carga por diferencia de altura, en este caso la pendiente es relativamente baja, por lo que no se estaría sacando provecho de lo mencionado anteriormente. Por lo que se decidió colocarlas lo más centralizadas posible, esto permitió que al momento de realizar los cálculos para el diseño hidráulico de la tubería secundaria se obtuvieran diámetros menores, ya que no requieren llevar el caudal completo sino que este se divide en dos al momento de entrar al sistema de riego de cada bloque. Dicha distribución de válvulas y su correspondiente turno se muestran en la Figura 25, y se identifican con la misma asignación de colores mencionada anteriormente para los turnos.

Los caudales y presiones de cada una de las válvulas se detallan a continuación en el apartado del diseño hidráulico.

4.4 Diseño Hidráulico

4.4.1 Tubería Principal

El comportamiento de la velocidad en la tubería principal para cada bombeo y turno de riego se muestra en el anexo 6. Acá se destaca que la velocidad se mantiene en el límite establecido prácticamente durante todo el funcionamiento del sistema, únicamente se tiene una velocidad de 2,24 m/s en 345 m del turno 5 para el bombeo 2. Si bien es cierto esta velocidad supera el límite establecido de 2 m/s, no se considera que puede poner en riesgo el funcionamiento del sistema, además que aquí se cuenta con un diámetro de tubería de 12 pulgadas, por lo que tratar de instalar una tubería de mayor diámetro sería complicado por la disponibilidad en el mercado y el costo extra que se pudo haber generado.

En la Figura 26, se muestra la distribución de la tubería principal en el campo, así como los diámetros correspondientes a cada tramo. Toda la tubería se diseñó para quedar colocada siguiendo las calles del terreno, para evitar que en caso de labores de instalación o reparación se afecte parte del lote de producción que está en cada bloque.

Además desde del inicio de la tubería hasta el final de cada ramal se diseñó para que el diámetro disminuyera telescópicamente, es decir, en el inicio de la distribución se tiene el diámetro mayor, y conforme se va avanzando el diámetro va disminuyendo hasta que en el punto de entrega se tiene el menor. Esto para evitar un exceso de pérdidas primarias y garantizar una correcta uniformidad de presiones al momento de que el agua llegue a cada una de las válvulas reguladoras en cada bloque.

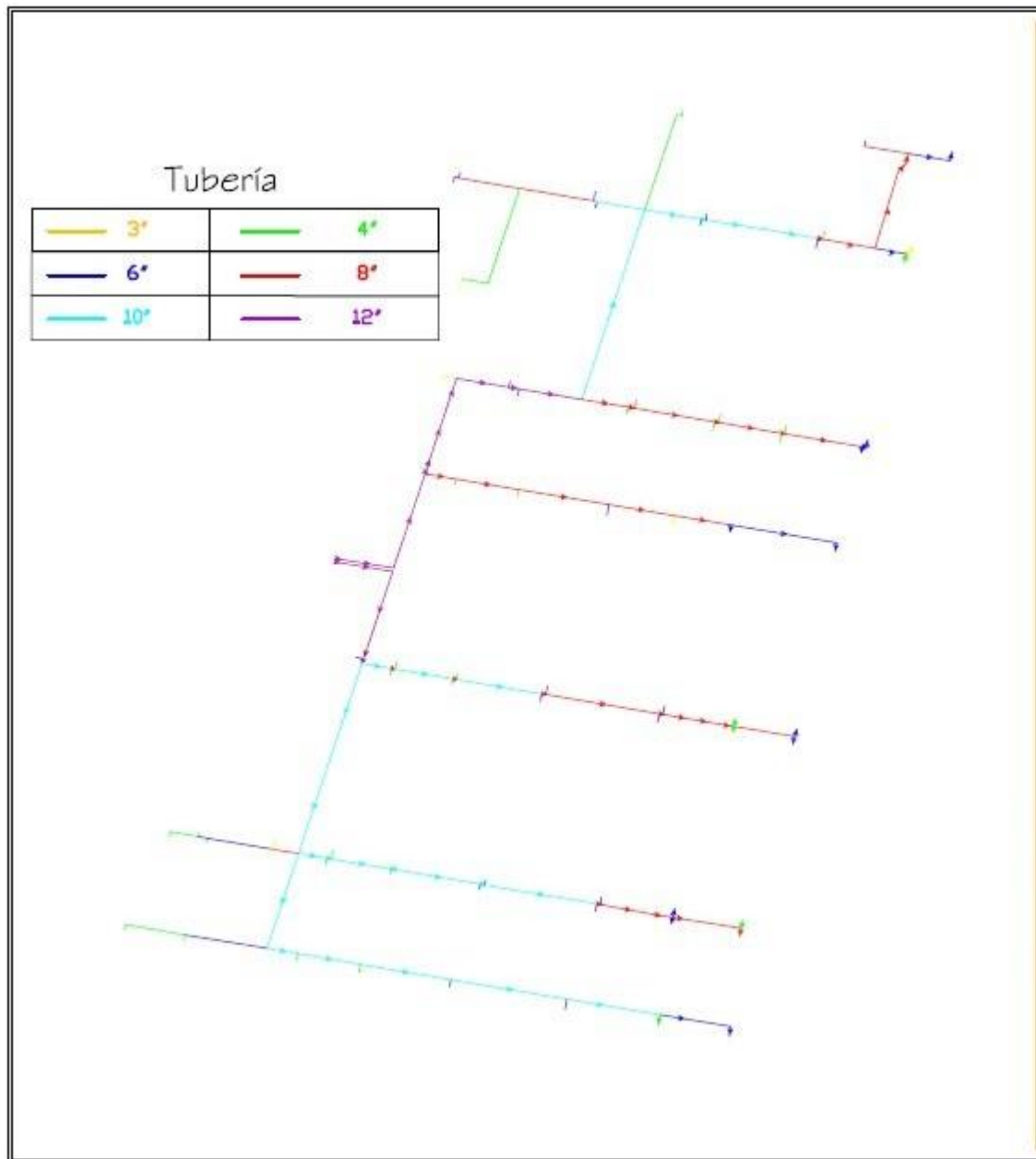


FIGURA 26. DISTRIBUCIÓN DE LA TUBERÍA PRINCIPAL

Elaborado con: AutoCAD 2014

4.4.2 Tubería Secundaria

La distribución de la tubería secundaria en el campo se muestra en la Figura 27. En los bloques con forma simétrica se dividió el área en dos para que el caudal a transportar fuera menor, y así (como se mencionó anteriormente) no poner diámetros mayores a los necesarios y disminuir gastos. En los lotes con forma asimétrica, estos se dividieron en sectores necesarios para a cada uno asignarle el diámetro correcto. Al igual que en la principal, se buscó que el diseño fuera telescópico.

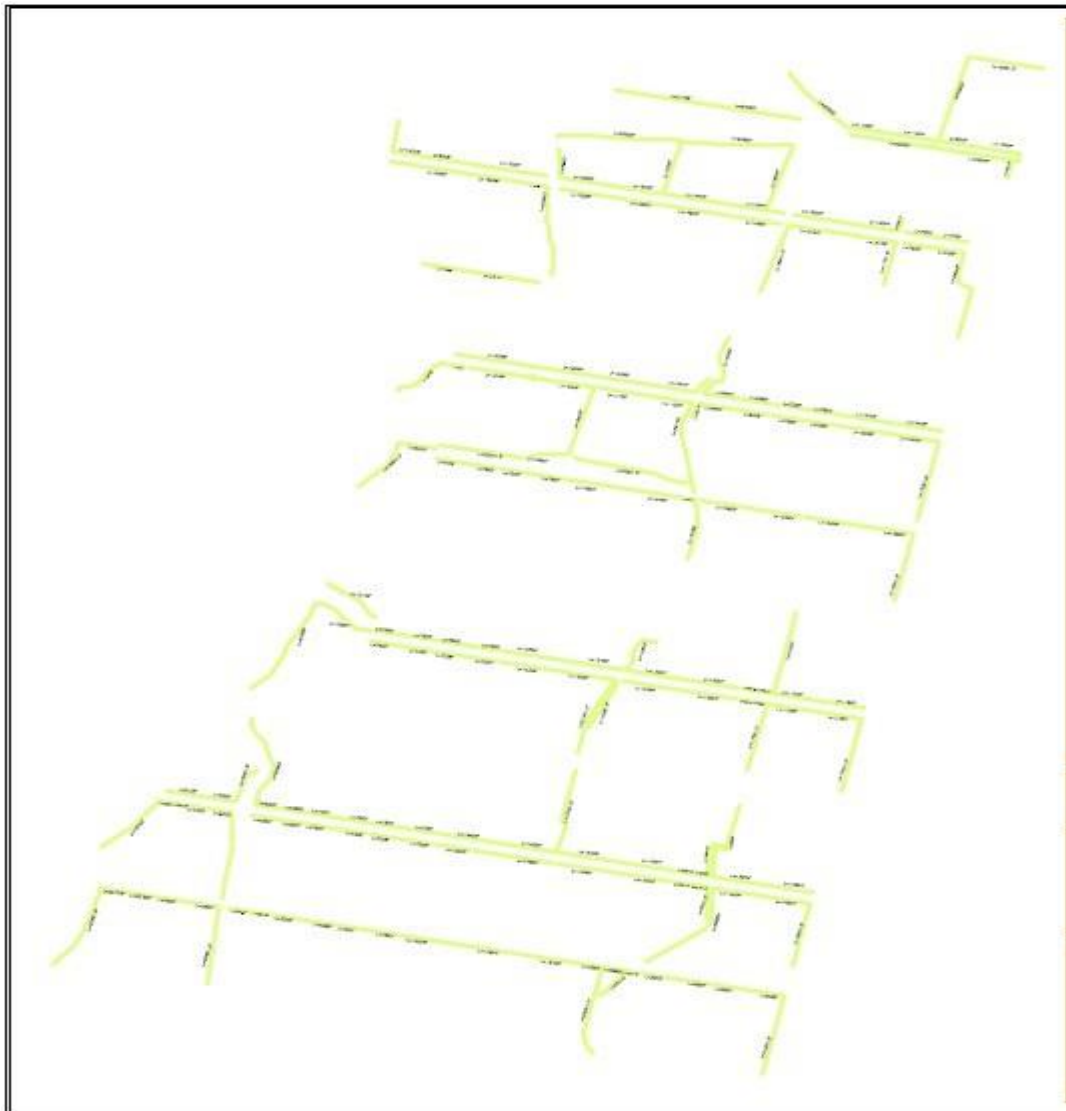


FIGURA 27. DISTRIBUCIÓN DE LA TUBERÍA SECUNDARIA

Elaborado con: AutoCAD 2014

4.4.3 Válvulas Reguladoras

Los resultados de caudal de cada válvula, así como las presiones esperadas en cada turno, se muestra en las Figuras 28, 29, 30, 31 y 32, se muestran los turnos por cada bombeo, por ejemplo en la Figura 28, se muestra el turno 1 para los bombeos 1 y 2.

Aquí se destaca que con el modelo generado, se logró mantener la presión de cada válvula en el intervalo de 20 a 40 m.c.a, el cual representa el rango de presiones necesario para garantizar que la presión de entrega de agua en la entrada de la tubería secundaria permita una correcta uniformidad en la distribución de agua en las cintas de goteo. La única excepción es la válvula 49, del turno 5 en el bombeo 1, ya que la presión mínima que puede llegar a alcanzar es de 19,5m, pero este valor aún se considera permitido y no afectará la distribución de agua en el área que abarca esta válvula.

	Elevation (m)	Demand (m ³ /h)	Pressure (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
157: V 4	84.00	94	20.5	30.0	20.5
159: V 1	84.00	80	20.5	30.0	20.5
192: V 6	82.00	35	20.7	32.0	20.7
161: V 5	85.00	25	20.9	29.0	20.9
165: V 2	84.00	92	24.2	30.0	24.2
90: V 12	79.00	41	29.1	33.5	28.7
173: V 15	78.00	40	29.3	34.5	29.3
88: V 14	79.00	45	29.3	33.5	28.7
169: V 18	76.00	44	30.5	36.3	30.5
86: V 11	80.00	25	30.8	32.5	27.7
60: V 17	77.00	57	31.7	35.3	30.2
84: V 13	79.00	38	31.7	33.5	28.7
58: V 16	78.00	26	32.2	34.3	29.2
202: V 7	81.00	29	32.7	34.0	32.2
110: V 10	80.00	75	35.4	35.4	33.0
124: V 8	80.00	45	35.5	35.7	34.2
112: V 9	80.00	31	35.5	35.5	33.3

FIGURA 28 CUADRO DE PRESIONES ESPERADAS EN LAS VÁLVULAS PARA EL TURNO 1 EN AMBOS BOMBEOS

Elaborado con: WaterCAD V8i

	Elevation (m)	Demand (m ³ /h)	Pressure (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
156: V 3	86.00	41	24.6	25.5	22.7
163: V 19	84.00	66	30.0	30.0	24.2
142: V 21	83.00	85	31.6	31.6	29.3
120: V 22b	83.00	50	32.3	32.6	29.6
144: V 20	82.00	93	32.6	32.6	30.4
76: V 25b	79.00	50	33.2	33.2	27.8
82: V 25a	79.00	50	33.3	33.3	28.4
80: V 26a	79.00	50	33.3	33.3	28.4
104: V 23b	81.00	50	33.5	34.4	30.8
102: V 24b	81.00	50	33.5	34.4	30.8
54: V 27b	78.00	50	34.1	34.1	28.7
56: V 27a	78.00	50	34.1	34.1	29.0
345: V 22a	81.00	50	34.5	34.6	32.7
108: V 23a	79.00	50	35.7	36.4	33.5
106: V 24a	79.00	50	35.7	36.4	33.5

FIGURA 29 CUADRO DE PRESIONES ESPERADAS EN LAS VÁLVULAS PARA EL TURNO 2 EN AMBOS BOMBEO

Elaborado con: WaterCAD V8i

	Elevation (m)	Demand (m ³ /h)	Pressure (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
153: V 29	84.00	93	27.0	30.0	23.9
155: V 28	84.00	91	27.0	30.0	23.9
74: V 35	79.00	95	28.8	33.3	26.9
72: V 36	79.00	96	28.8	33.3	27.0
138: V 31	83.00	66	29.1	31.6	27.0
140: V 30	83.00	82	29.3	31.6	27.0
78: V 26b	79.00	50	29.5	33.3	27.8
52: V 37	79.00	96	30.0	33.2	27.2
100: V 34	82.00	93	30.6	33.4	28.8
116: V 38a	82.00	15	31.5	33.6	27.8
98: V 33	81.00	96	31.5	34.4	29.8
118: V 32	80.00	96	33.5	35.6	31.0

FIGURA 30 CUADRO DE PRESIONES ESPERADAS EN LAS VÁLVULAS PARA EL TURNO 3 EN AMBOS BOMBEO

Elaborado con: WaterCAD V8i

	Elevation (m)	Demand (m ³ /h)	Pressure (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
183: V 38b	85.00	94	20.1	29.0	20.1
151: V 39	86.00	66	20.3	28.0	20.3
149: V 40	86.00	91	20.4	28.0	20.4
136: V 41a	85.00	52	22.7	29.6	22.7
132: V 42b	84.00	50	23.2	30.6	23.2
130: V 41b	84.00	50	23.2	30.6	23.2
134: V 42a	84.00	50	23.7	30.6	23.7
96: V 44	83.00	90	28.1	32.4	23.9
94: V 45	83.00	93	28.1	32.4	23.9
70: V 46	81.00	93	28.7	31.3	23.8
68: V 47	81.00	93	28.7	31.3	23.9
50: V 48	78.00	88	33.1	34.2	27.6

FIGURA 31 CUADRO DE PRESIONES ESPERADAS EN LAS VÁLVULAS PARA EL TURNO 4 EN AMBOS BOMBEOS

Elaborado con: WaterCAD V8i

	Elevation (m)	Demand (m ³ /h)	Pressure (m H2O)	Pressure (Maximum) (m H2O)	Pressure (Minimum) (m H2O)
621: V 57b	81.00	79	20.4	31.3	20.4
61: V 58b	81.00	87	20.6	31.3	20.6
128: V 52	86.00	80	20.9	28.6	20.9
126: V 53	86.00	85	20.9	28.6	20.9
181: V 49	86.00	84	21.0	28.0	19.5
177: V 55	82.00	94	21.1	33.4	21.1
92: V 56	82.00	94	21.1	33.4	21.1
145: V 50	86.00	37	21.2	28.0	20.1
147: V 51	86.00	59	21.3	28.0	20.1
66: V 57a	81.00	25	21.8	31.3	21.8
64: V 58a	81.00	22	21.8	31.3	21.8
167: V 59b	81.00	97	22.4	31.2	22.4
624: V 55a	82.00	20	22.4	33.4	22.4
623: V 56a	82.00	25	22.5	33.4	22.5
207: V 54	84.00	91	22.6	31.6	22.6
114: V 43	85.00	75	23.8	30.6	23.8
619: V 59a	81.00	58	24.0	31.2	24.0

FIGURA 32 CUADRO DE PRESIONES ESPERADAS EN LAS VÁLVULAS PARA EL TURNO 5 EN AMBOS BOMBEOS

Elaborado con: WaterCAD V8i

4.5 Plan de operación

El plan de operación del sistema, se resume en los Cuadros 6 y 7.

CUADRO 6 PLAN DE OPERACIÓN ÁREA 1

Turno	Válvulas	Área (ha)	Caudal (m ³ /h)
1	1-2-4-5-6-7-8	28,90	401,71
2	3-19-20-21-22a-22b	28,58	397,26
3	28-29-30-31-32-38a	32,87	456,89
4	38b-39-40-41a-41b-42a-42b	32,61	453,27
5	43-49-50-51-52-53-54	36,76	510,96

CUADRO 7 PLAN DE OPERACIÓN ÁREA 2

Turno	Válvulas	Área (ha)	Caudal (m ³ /h)
1	9-10-11-12-13-14-15-16-17-18	32,13	446,60
2	23a-23b-24a-24b-25a-25b-26a-26b-27a-27b	35,91	499,14
3	33-34-35-36-37	34,26	476,21
4	44-45-46-47-48	32,89	457,17
5	55a-55b-56a-56b-57a-57b-58a-58b-59a-59b	37,75	524,72

Además la Figura 33, se muestra el plano general del sistema, incluyendo tanto tubería primaria como secundaria.

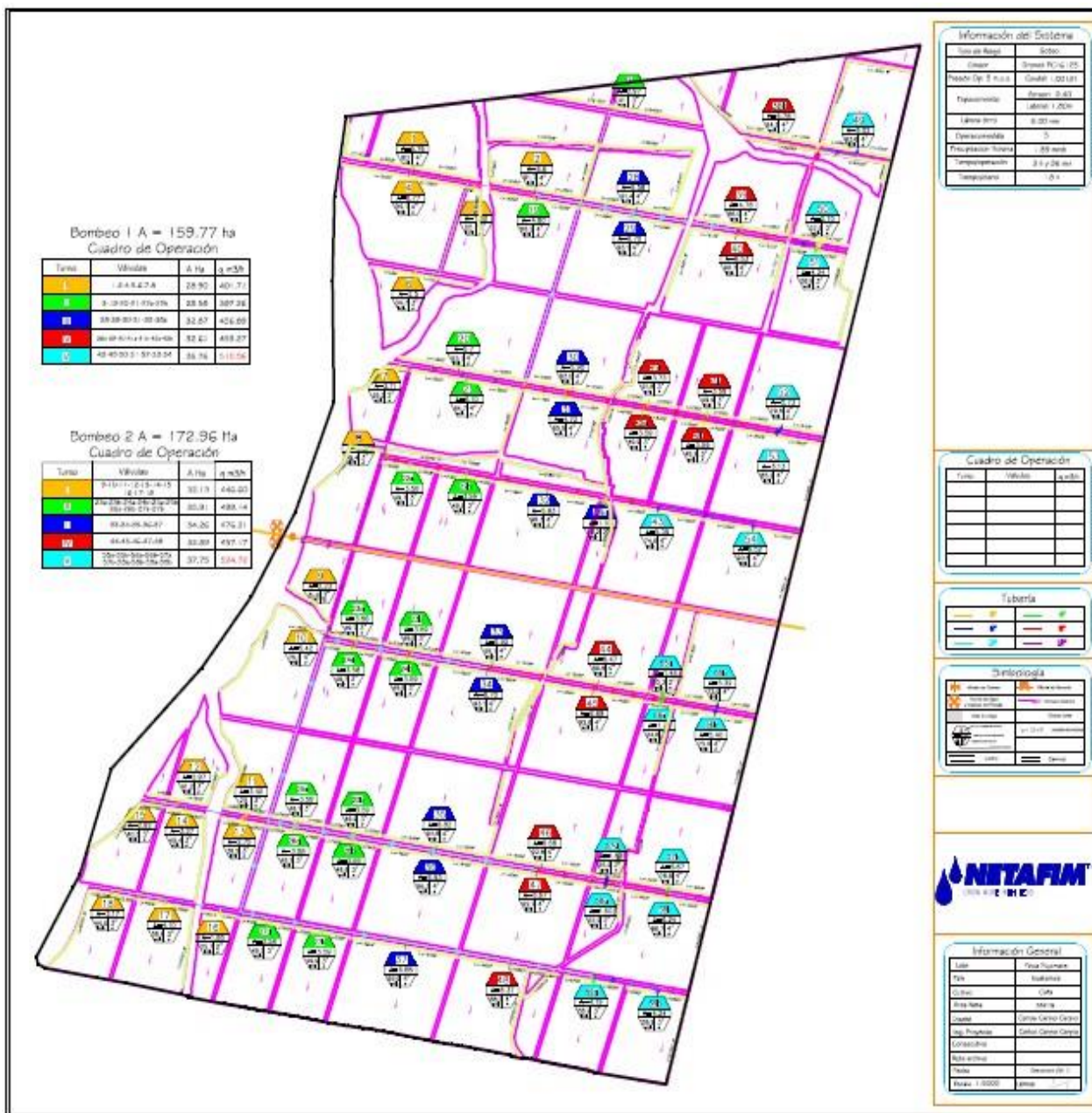


FIGURA 33 PLANO GENERAL DEL SISTEMA DE RIEGO EN FINCA PUYUMATE

Elaborado con: AutoCAD 2014

Dicho plano se puede apreciar mejor en el anexo 10.

En el Cuadro 8, se presenta el plan de operación general del proyecto. En el anexo 8 se encuentra el plan de riego específico para cada mes.

CUADRO 8 PLAN GENERAL DE RIEGO DEL PROYECTO

Época	Días	Mes	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)	Preci (mm/día)	BH (mm/día)	Eficiencia	Lámina Bruta (mm/día)	Intensidad (mm/h)	T riego	#Turnos	#Horas día	Lámina Aplicar (mm)	Frecu (días)
Inicial (siembra y brotación)	0-30	Enero	4,73	0,40	1,89	0,00	1,89	0,90	2,10	1,39	1,5	5	8	10,51	5,00
Desarrollo	30-60	Febrero	4,81	0,70	3,37	0,00	3,37	0,90	3,74	1,39	2,7	5	13	18,71	5,00
		Marzo	5,28	1,00	5,28	0,26	5,02		5,58		4,0		20	27,89	5,00
Media	60-180	Abril	4,80	1,25	6,00	1,53	4,47		4,97		3,6		18	24,83	5,00
		Mayo	4,51		5,64	3,35	2,29		2,54		1,8		9	12,71	5,00
		Junio	3,92		4,90	11,76	-6,86		-7,62		-5,5		-27	-38,11	5,00
		Julio	4,65		5,81	6,19	-0,38		-0,42		-0,3		-2	-2,10	5,00
		Agosto	4,51		5,64	7,45	-1,81		-2,01		-1,5		-7	-10,07	5,00
		Septiembre	4,21		5,26	11,63	-6,37		-7,08		-5,1		-25	-35,38	5,00
Final de Temporada (concentración)	180-365	Octubre	4,04	1,05	4,24	6,38	-2,14		-2,38		-1,7		-9	-11,88	5,00
		Noviembre	4,41	0,80	3,53	0,10	3,43		3,81		2,7		14	19,04	5,00
		Diciembre	4,35	0,75	3,26	0,41	2,85	3,17	2,3	11	15,85	5,00			

Indica meses dónde no se requiere aplicar el riego

4.6 Curva característica de la bomba a emplear

El modelo que se consideró se adapta mejor a las condiciones del proyecto es el B6EXQBM, se usaran dos bombas de este modelo, una para cada bombeo. Las características de dicha bomba se pueden encontrar en el anexo 3. En la Figura 34, se muestra la curva característica de la bomba.

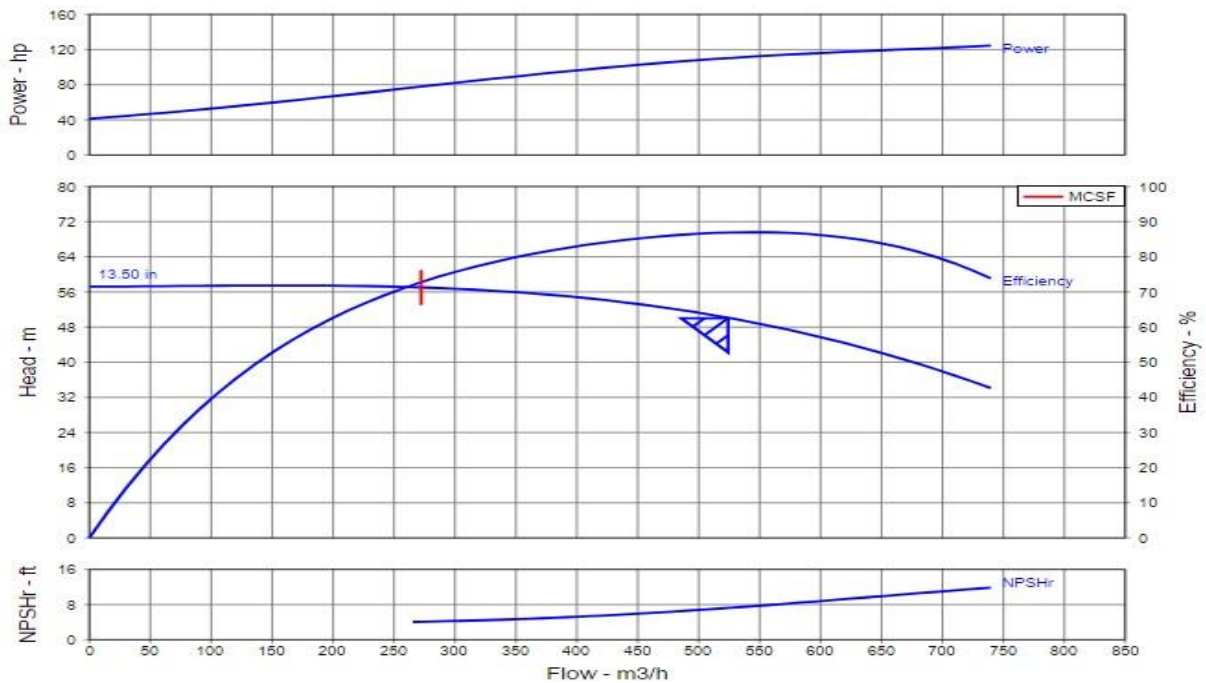


FIGURA 34 CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA B6EXQBM

Fuente: Berkeley

El valor del NPSH disponible calculado fue de 7,71 m, y según el fabricante el NPSH requerido es de 7,23 m, esto indica que la bomba tiene pocas posibilidades de sufrir del fenómeno de cavitación.

4.7 Motor

Para cada bomba se va a utilizar un motor John Deere 6068TF250 (especificaciones en el anexo 5).

4.8 Materiales

Los materiales necesarios para la realización del proyecto se detallan en los Cuadros 9, 10, 11 y 12.

4.8.1 Válvulas

CUADRO 9 VALVULERÍA DEL PROYECTO

Tipo	Diámetro (pulgadas)	Cantidad
Reguladora	2	4
	3	30
	4	35

En el anexo 4 se presenta las características de las válvulas reguladoras a utilizar.

4.8.2 Tuberías

CUADRO 10 TUBERÍA NECESARIA PARA EL PROYECTO

Tipo	Diámetro (pulgadas)	Longitud (m)	Cantidad de tubos	Total Tubos	Total (m)
Principal	3,00	74	12	1.856	11.139
	4,00	938	156		
	6,00	1.187	198		
	8,00	3.420	570		
	10,00	4.036	673		
	12,00	1.484	247		
Secundaria	1,50	4.352	725	3.876	23.258
	2,00	5.536	923		
	3,00	7.090	1.182		
	4,00	6.280	1.047		

4.8.3 Accesorios

CUADRO 11 LISTADO GENERAL DE ACCESORIOS DEL SISTEMA

Material	Total
Codo Liso PVC 4" X 90°	6
Codo Liso PVC 6" X 90°	6
Reducción Lisa PVC 6" X 4"	21
Reducción Lisa PVC 8" X 6"	30
Tee Lisa PVC 6"	5
Tee Lisa PVC 8"	25
Reducción Lisa PVC 4" X 3"	7
Codo Liso PVC 3" X 90°	2
Tee Metálica 12" X 10" X 10	1
Cruz Metálica 10" X 10" X 8 X 10"	1
Tee Metálica 10" X 6" X 10	8
Codo Liso PVC 8" X 90°	1
Codo Liso PVC 8" X 45°	2
Tee Metálica 12" X 8" X 10	1
Cruz Metálica 10" X 10" X 4 X 10"	1
Tee Metálica 12" X 3" X 12	2
Codo Metálico 12" X 90°	2
Tee Metálica 12" X 8" X 12	1
Tee Metálica 12" X 4" X 12	1
Tee Metálica 12" X 6" X 12	3
Tee Metálica 10" X 6" X 8	4
Tee Metálica 10" X 4" X 10	9
Tee Metálica 10" X 8" X 10	1
Tee Metálica 10" X 4" X 6	1

4.8.4 Emisores

CUADRO 12 TOTAL DE TUBERÍA DE GOTEO

Tipo	Longitud (m)	Cantidad de Mangueras
Tubería de goteo NETAFIM modelo Dripnet 16125 de 1 lph @ 50 cm rollos de 1500 m	1.767.783,28	1.178,52

4.8.5 Sistema de Filtrado

Para cada operación de riego, se requieren 8 filtros marca ODIS modelo 4484. Los mismos deben ir instalados entre la succión y la entrada de agua al sistema, esto para garantizar que el agua entre con la menor cantidad de impurezas posible, y así evitar obstrucciones en los goteros. Las características de los filtros se observan en el anexo 2.

4.8.6 Caseta de Fertirriego

En total se requieren 3 tanques para fertilizante de 5.000 L, y un tanque de 1.000 L para premezcla.

4.9 Análisis Ambiental

El análisis mediante la metodología de Leopold muestra que el proyecto de sistema de goteo genera un impacto ambiental bajo. Esto debido a que el riego por goteo es de tipo localizado, lo que permite proveer a la planta solo de la cantidad de agua que esta necesita. La tabla de dicho análisis se puede observar la figura 35.

Caracterización del Proyecto Finca Puyumate														Síntesis					
ASPI	Aspectos Ambientales	Geología				Suelo	Agua			Aire		Paisaje		Interacciones		Sumatoria MI			
		Erodabilidad	Permeabilidad	Pendiente o relieve	Procesos erosivos	Textura, estructura, drenaje, profundidad	Caudales	escorrentía	Demanda	Partículas	Generación de ruido	Generación de gases	Calidad Visual	Color	+	-	M	I	
Preparación del Terreno	Genera ruido, polvo, incrementa el tráfico vehicular	-8	2	5	2	3	1	-3	1							3	4	32	9
Instalación del Sistema	Remoción de cobertura vegetal, perturba características físicas del suelos					-4	1									0	3	7	3
Instalación de Caseta	Impermeabiliza el suelo		-3	1				-7	1							0	0	0	0
Abastecimiento del sistema	Se extrae el agua del cauce del río						-8	6		-8	5					0	2	16	11
Labores de Cosecha	Elimina la cobertura del suelo		-8	2		-7	2		-8	2						0	4	32	7
Operación de Maquinaria en Camp	Ruido, compactación del suelo, genera gases		-7	2							-6	1	-7	1		0	3	20	4
Número Iteraciones	+		1	1							1					3	16		
	-	1	3		2	1	1	2	1	1	2	1	1	2		3	16		
Sumatoria MI	M	8	31	3	10	4	8	15	8	3	11	12	1	11				107	34
	I	2	7	1	3	1	6	3	5	1	2	2	1	2				125	36
Proyecto																+		35,6	2,12
																-		41,6	2,00

FIGURA 35 MATRIZ LEOPOLD PROYECTO FINCA PUYUMATE

4.10 Análisis Financiero

El Cuadro 13, presenta el resumen de los resultados obtenidos luego de realizar los cálculos establecidos en la metodología para el análisis financiero. Las características del motor seleccionado se muestran en el anexo 5.

CUADRO 13 RESULTADOS ANÁLISIS FINANCIERO

Ingresos área sin riego (\$/ha) (\$/m ²)	1.980	0,198
Ingresos área con riego (\$/ha) (\$/m ²)	3.300	0,330
Diferencial de Ingresos (\$/ha) (\$/m ²)	1.320	0,132
Producción área no regada (ton/ha) (kg/m ²)	60	6,00
Producción área regada (ton/ha) (kg/m ²)	110	11,00
Diferencial de producción (ton/ha) (kg/m ²)	50	5,00
Corte Alza Transporte (\$/ton) (\$/kg)	10	0,01
Costo CAT (\$/ha) (\$/m ²)	500	0,05
Pago de operarios (\$/ha-año) (\$/m ² -año)	50	0,005
Costo operación del motor por año (\$/ha-año) (\$/m ² -año)	219	0,021
Ingreso por hectárea por año (\$/ha-año) (\$/m ² -año)	881	0,088
Inversión Inicial (\$)	3.000	

Se procede a ingresar los datos anteriores en el Excel generado, obteniendo los siguientes resultados mostrados en el Cuadro 14.

CUADRO 14 ANÁLISIS FINANCIERO PROYECTADO PROYECTO DE GOTEO EN CAÑA DE AZÚCAR FINCA PUYUMATE

Modelo "aumento en utilidad por diferencial en producción anual "



Datos de Entrada

Datos de entrada

Diferencial en producción	50,00	ton caña/has
Factor de conversión de azúcar	10	%
Precio venta de proyecto llave en mano	3000	\$/has
Corte Alza Transporte	10	\$/ton
Ahorro goteo (mano de obra, insumos etc)		\$/has
Operación	269	\$/has
Precio de la azúcar	0,15	\$/lb azúcar

Resultados lineales

Aumento en utilidad	881	\$/has
Diferencial de azúcar	5	ton azúcar/ has
Pay back	3,41	años

Datos de Salida

Resultados a valor presente 3 años

Año	0	1	2	3
Utilidad proyectado	-3000	881	881	881
Tasa de descuento		8,00%		
TIR		-6,08%		
VAN \$/has		-\$729,58		

Resultados a valor presente 4 años

Año	0	1	2	3	4
Utilidad proyectado	-3000	881	881	881	881
Tasa de descuento		8,00%			
TIR		7%			
VAN \$/has		-\$82,02			

Resultados a valor presente 6 años

Año	0	1	2	3	4	5	6
Utilidad proyectado	-3000	881	881	881	881	881	881
Tasa de descuento		8,00%					
TIR		19%					
VAN \$/has		\$1.072,76					

Tomando en cuenta los valores de los principales indicadores, se obtiene como principal resultado que el proyecto es rentable, ya que estos son positivos:

1. VAN (\$/ha): \$1.072,76
2. TIR: 19%
3. La inversión se recupera en el año 4

Análisis de sensibilidad

- a) Como se usó uno de los precios histórico menores de la azúcar, se sabe que el proyecto será positivamente más rentable en escenario de precios mejores
- b) Como se utilizó un diferencial de producción conservador sabemos que ante escenarios de mayor producción el proyecto es viable
- c) Como estas inversiones son depreciables a más de 10 años el proyecto es viable como alternativa de producción
- d) No se consideran otros ahorros productos a:
 - La reducción en el uso de herbicidas
 - Reducción al costo de aplicación de fertilizante (la cual será a través del fertirriego)
 - Esto haría el proyecto aún más rentable.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se logró una distribución idónea de las áreas de siembra de la finca, contemplando las características del cultivo y del entorno del lugar.

El sistema propuesto logra suministrar agua en el terreno de una manera eficiente, asegurando una buena uniformidad de distribución.

Se estableció un plan de operación acorde con las necesidades del sistema, y las características agrometeorológicas de la Finca Puyumate.

El análisis de Leopold realizado muestra que el proyecto genera un bajo impacto ambiental.

Los indicadores financieros muestran que el proyecto es rentable.

El análisis de sensibilidad proyecta una recuperación para el año 4.

La velocidad en la tubería principal está en el rango establecido.

La bomba seleccionada tiene pocas probabilidades de sufrir cavitación.

Las presiones en la entrada de la tubería secundaria están en el rango de operación de la cinta de goteo seleccionada.

Los programas computacionales utilizados permiten obtener un modelo confiable del comportamiento hidráulico del sistema diseñado.

5.2 Recomendaciones

Instalar tensiómetros en el campo para comprobar que la lámina de riego aplicada es la necesaria, y así ajustar los tiempos y calendarios de riego planteados.

Comprobar el caudal real y la presión de trabajo para cada cambio de riego, cuando el sistema está activo durante al menos media hora. Comparar los datos recogidos con los datos suministrados con el sistema, la tolerancia no debe ser superior a $\pm 5\%$.

Una vez al mes comprobar la presión de salida en las válvulas reguladoras y verificar el dato con los datos del fabricante.

Una vez por temporada comprobar el nivel de suciedad en el sistema, de ser necesario, lavar todas las tuberías (principal, secundaria, distribución).

Al final de la temporada inyectar químicos para mantenimiento y lavado del sistema.

Una vez al mes retro lavar el sistema de filtrado, y verificar presiones de salida y entrada en los mismos.

Durante todo el ciclo de producción realizar constantes inspecciones visuales para comprobar que no existan fallas en el sistema.

Construir estructuras que permitan el paso de tubería en los sectores en donde hay drenajes o ríos.

Realizar pruebas de avance en la tubería para verificar una correcta uniformidad en todo el sistema.

Analizar distintos escenarios que dependan de fluctuaciones en los componentes considerados en el análisis financiero (CAT, precio de azúcar, diferencial de producción, entre otros), esto para observar los posibles factores de riesgo en la ejecución del proyecto.

Una vez finalizado el ciclo del sistema de riego, buscar la manera de desechar correctamente la tubería de goteo para reducir el impacto ambiental que este desecho pueda originar.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Acedo Casado, C., Alonso Redondo, R., & Llamas García, F. (2012). *Estudio de gran visión para la identificación de necesidades de riego y drenaje en las zonas de abasto cañeras y propuestas de tecnificación en zonas potenciales como base para el desarrollo de proyectos de inversión.*
- Allen G., R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *FAO :Estudios FAO Riego Y Drenaje 56*, 297.
- Barrantes Mora, J. C., Alfaro Portuguez, R., & Ocampo Chinchilla, R. (2015). Evaluación de cuatro distancias de siembra en la modalidad de surco gemelo en tres variedades comerciales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L .) en la Región Sur. Costa Rica Julio César Barrantes Mora 1 Roberto Alfaro Portuguez 2 Randall Ocampo Ch, (506).
- Bentley. (2017). Water Distribution Modeling and Management. Retrieved from <https://www.bentley.com/~/asset/14/12516.ashx>
- Bigcharts. (2017). precio azucar.pdf. Retrieved from <http://bigcharts.marketwatch.com/quickchart/quickchart.asp?symb=sugar&insttype=&freq=1&show=True&time=9>
- Consuegra Orozco, C. A. (2014). PRODUCTIVIDAD DE LAS VARIEDADES CP88-1165 , CP73-1547 Y.
- Díaz Montejo, L. L., & Portocarrero Rivera, E. T. (2002). Manual de Producción de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum* L.), 148. Retrieved from http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/T1639.pdf
- Gutierrez Aponte, J. L., & Sánchez Ángulo, L. A. (2009). Impacto ambiental, 1–12.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olgún, A. (2015). Riego Por Goteo, 158.
- Marín, V. (2010). Evaluación de la Relación entre la Evapotranspiración Potencial Teórica y la Evaporación Registrada en los Departamentos de Cundinamarca y Valle del Cauca.
- Martínez, L. (2006). Equipos de riego por goteo.
- Martínez Stone, C. M. (2013). Capitulo IV evaluación financiera.
- Mendoza, A. E. (2013). *Riego por Goteo.*
- NETAFIM. (2017a). Caña de Azúcar. Retrieved from <http://www.netafim-latinamerica.com/crop/sugarcane/Intro>
- NETAFIM. (2017b). Dripnet pc TM 16250 - 16200 - 16150 - 16125, 0–1.
- Orozco, H., Quemé, J. L., Ovalle, W., & Rosales, F. (2015). Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar. In *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala* (pp. 46–77).
- Otón Tortosa, J. (2015). Bombas centrífugas.

- Pérez, C. (2012). Curso de Inicicación al AutoCAD.
- Plana, V. (2008). MANEJO Y MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES DE RIEGO LOCALIZADO.
- Puga Muñoz, M. (2011). VAN y TIR, 1–4.
- Quizhpe Pineda, D. D. (2010). Instalación de un Cabezal de Riego para un Sistema Establecido que Comprende un Invernadero, Umbráculo y Patio de Aclimatación, Ubicados en el Campus Juan Lunardi, Paute, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales.
- Saenz, J. O. (2004). Experiencias en la optimización de la maduración inducida, en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Guatemala, 72.
- SAGARPA, CONADESUCA, & Chapingo, U. A. de. (2016). Nota inforativa sobre innovaciones en materia de productividad del sector. *Nuevas Variedades de Caña de Azúcar*.
- Santana Pérez, L. M. (2008). EVAPOTRANSPIRACIÓN PENMAN-MONTEITH.
- Santos Pereira, L., De Juan Valero, J. A., Picornell Buendía, M. R., & Tarjuelo Martín, J. M. (2010). *El Riego Y Sus Tecnologías*.
- Silva, C. (2016). Transpiración.
- Sobrino, F., Alvarez, R., Rodríguez, L., & Garrido, J. C. (2017). Taller : Instalación de sistema de riego por goteo en itdUPM, 1–10.
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., & Raes, D. (2014). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*.
- Suárez García, L. F. (2012). Manejo Agronómico del Cultivo de la Caña de Azúcar en un Predio de Mahuixtlán, Veracruz, Estudio de Caso.
- Welch, & Shock. (2013). Técnicas para la Agricultura Sostenible. En: Orangon State University.

7 ANEXOS

Anexo 1

Especificaciones técnicas de la cinta de goteo a usar

MAX. LATERAL LENGTH (METERS) AT DIFFERENT INLET PRESSURE AND DIFFERENT SLOPES

DRIPNET PC™ 16125/16150 • ID 16.2 MM • KD 0.4 • FLOW RATE 1.0 L/H

	DISTANCE BETWEEN DRIPPERS (METER)									
	INLET PRESSURE (BAR)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
UPHILL 2%	1.0	108	140	166	185	201	214	225	233	241
	1.4	135	179	215	245	271	292	310	327	341
	1.8	155	208	252	290	322	351	376	399	419
	2.2	171	232	282	326	365	399	430	457	482
FLAT TERRAIN	1.0	126	175	219	260	297	333	366	398	428
	1.4	150	209	262	311	356	398	438	477	514
	1.8	169	236	295	350	401	449	494	537	579
	2.2	184	257	322	382	438	491	540	588	633
DOWNHILL 2%	1.0	144	211	276	339	401	463	523	584	644
	1.4	166	240	311	379	446	511	576	639	702
	1.8	183	263	339	412	482	552	619	685	751
	2.2	197	283	363	440	514	586	656	725	793

Minimum considered pressure 0.4 bar

Max. working pressure according the dripperline wall thickness definition

MODEL	INSIDE DIAMETER (MM)	WALL THICKNESS (MM)	OUTSIDE DIAMETER (MM)	MAX. WORKING PRESSURE (BAR)	MAXIMUM FLUSHING PRESSURE (BAR)	KD
12125	11.8	0.31	12.42	2.5	2.9	1.35
12150	11.8	0.38	12.56	3.0	3.5	1.35
12200	11.8	0.50	12.80	3.0*	3.9	1.35
12250	11.8	0.63	13.06	3.0*	3.9	1.35
16125	16.2	0.31	16.82	1.8	2.1	0.40

DRIPPERS TECHNICAL DATA

FLOW RATE* (L/H)	WORKING PRESSURE RANGE (BAR)	WATER PASSAGES DIMENSIONS WIDTH-DEPTH-LENGTH (MM)	FILTRATION AREA (MM²)	CONSTANT K	EXPONENT* X	RECOMMENDED FILTRATION (MICRON)/(MESH)
0.4	0.25 - 2.5	0.46 x 0.52 x 26	29	0.4	0	130/120
0.6	0.25 - 2.5	0.52 x 0.60 x 22	39	0.6	0	130/120
1.0	0.40 - 3.0	0.61 x 0.60 x 8	39	1.0	0	130/120
1.6	0.40 - 3.0	0.76 x 0.73 x 8	39	1.6	0	200/80
2.0	0.40 - 3.5	0.84 x 0.80 x 8	39	2.0	0	200/80
3.0	0.40 - 3.5	1.02 x 0.88 x 8	39	3.0	0	200/80
3.8	0.60 - 3.5	1.02 x 0.88 x 8	39	3.8	0	200/80

* Within working pressure range

Anexo 2

Especificaciones técnicas de los filtros

Recommended Flow Rates

Metric Units

Models	Inlet / Outlet Diameters		Body Diameters		Recommended Flow Rate			
	inch	mm	inch	mm	Minimum m ³ /h	Average * m ³ /h	Maximum m ³ /h	Back Flushing m ³ /h
4121	1"	25	12"	300	3.5	5	6	7
41615	1½"	40	16"	400	6	8	11	10
4202	2"	50	20"	500	9	12	18	15
4203	3"	80	20"	500	10	12	18	15
4242	2"	50	24"	600	14	20	28	25
4243	3"	80	24"	600	14	20	28	25
4303	3"	80	30"	750	21	30	42	38
4363	3"	80	36"	900	32	42	62	54
4484	4"	100	48"	1200	62	72	120	95
4363U	3"	80	36"	900	32	42	62	54
4484U	4"	100	48"	1200	62	72	120	95

* Average water quality.
For dirty water reduce the flow rate.

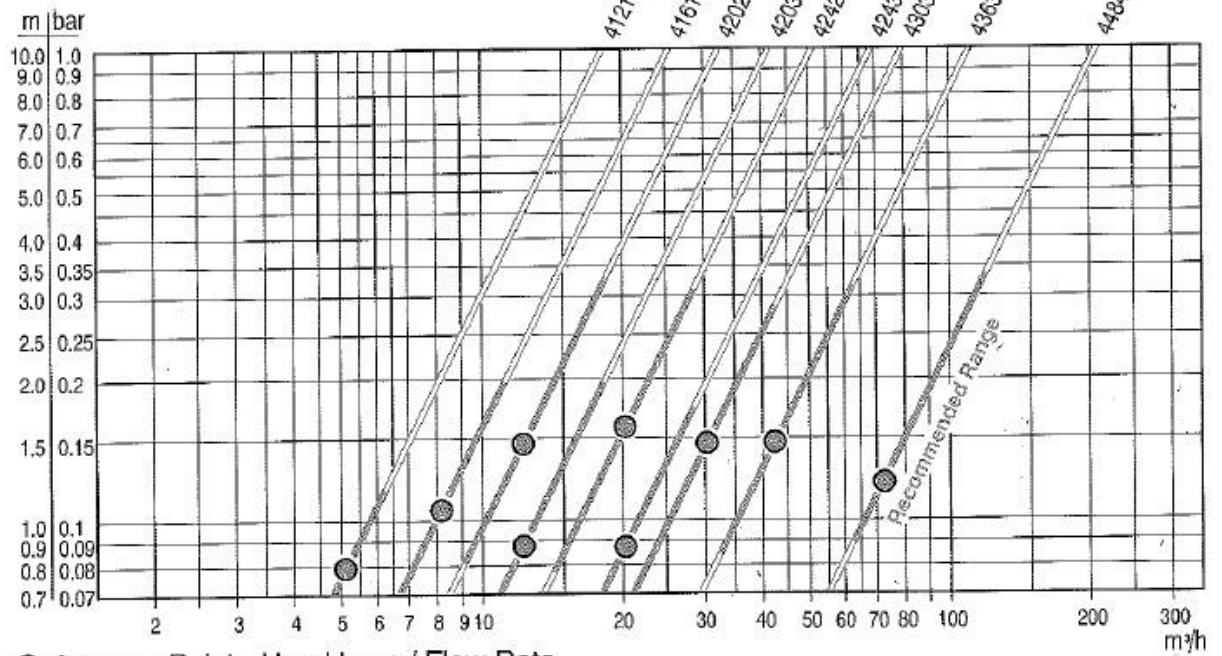
Metric Units

Head Loss

Model	Flow Rate Q (m ³ /h)													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	
Head Loss dP (bar)														
4121 (1")	0.08	0.31	0.69	1.23										
41615 (1½")	0.04	0.16	0.36	0.64	1.00	1.44								
4202 (2")		0.10	0.22	0.39	0.61	0.88	1.20							
4203 (3")		0.06	0.13	0.24	0.37	0.54	0.73	0.95	1.20	1.49				
4242 (2")		0.04	0.09	0.15	0.24	0.35	0.47	0.62	0.78	0.96	1.16			
4243 (3")				0.09	0.14	0.19	0.26	0.35	0.44	0.54	0.65	0.78	1.06	

Model	Flow Rate Q (m ³ /h)															
	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100	110	120	140	160
Head Loss dP (bar)																
4303 (3")	0.10	0.14	0.19	0.25	0.32	0.39	0.47	0.56	0.77	1.00	1.27					
4363 (3")			0.10	0.13	0.16	0.20	0.24	0.29	0.39	0.51	0.65	0.80	0.96	1.15		
4484 (4")								0.08	0.11	0.15	0.18	0.23	0.27	0.33	0.44	0.58
4363U (3")			0.10	0.13	0.16	0.20	0.24	0.29	0.39	0.51	0.65	0.80	0.96	1.15		
4484U (4")								0.08	0.11	0.15	0.18	0.23	0.27	0.33	0.44	0.58

Head Loss/Flow Rate



● Average Point - Head Loss / Flow Rate

■ 1 bar=100 kPa=1.02 kg/cm²=10.2 m (W.C)=14.5 psi

Anexo 3

Características de las bombas a emplear

▼ Performance Details			
Size	:B6EXQBM	Based on curve number	:8858
Stages	:1		
Operating Conditions		Liquid	
Flow rated	:524.0 m ³ /h	Liquid type	:Water
Differential head / pressure, rated (requested)	:50.00 m	Additional liquid description	
Differential head / pressure, rated (actual)	:50.12 m	Solids diameter, max	:0.00 in
Suction pressure, rated / max	:0.00 / 0.00 psig	Solids concentration, by volume	:0.00 %
<u>NPSH available, rated</u>	:Ample ft	Temperature, max	:88.00 deg F
Frequency	:60 Hz	Fluid density, rated / max	:1.000 / (1.000 SG)
Performance		Viscosity, rated	:1.00 cP
Speed criteria	<input type="radio"/> Synchronous <input checked="" type="radio"/> Variable	Vapor pressure, rated	:0.00 psi a
Speed, rated	<input type="checkbox"/> set @ 1805 rpm	Cq/Ch/Ce/Cn	:1.00 / 1.00 / 1.00 / 1.00
Impeller diameter, rated	<input checked="" type="checkbox"/> set @ 13.50 in	Material	
Impeller diameter, maximum	:13.50 in	Material requested	:Auto
Impeller diameter, minimum	:13.50 in	Material selected	:Not specified
Efficiency	:86.81 %	Pressure Data	
NPSH required / margin required	:7.23 / 0.00 ft	<u>Maximum working pressure</u>	:81.83 psig
nq (imp. eye flow) / S (imp. eye flow)	:38 / 373 Metric units	Maximum allowable working pressure	:155.0 psig
MCSF	:272.2 m ³ /h	Maximum allowable suction pressure	:NA
Head, maximum, rated diameter	:57.48 m	Hydrostatic test pressure	:NA
Head rise to shutoff	:14.13 %	Driver & Power Data	
Flow, best eff. point	:544.3 m ³ /h	Driver sizing specification	:Rated power
Flow ratio, rated / BEP	:96.27 %	Margin over specification	:0.00 %
Diameter ratio (rated / max)	:100.00 %	Service factor	<input type="checkbox"/> Use service factor 1.00
Cutwater ratio (rated / cutwater)	:NA	Power, hydraulic	:96.80 hp
Head ratio (rated dia / max dia)	:100.00 %	Power, rated	:110 hp
Selection status	:Acceptable	Power, maximum, rated diameter	:125 hp
		Power reserve (rated / max / sizing spec)	:13.40 / 0.30 / 13.40 %
		<u>Minimum recommended motor rating</u>	<input type="checkbox"/> set @ 125 hp / 83.21 kW

Anexo 4

Especificaciones técnicas de las válvulas reguladoras

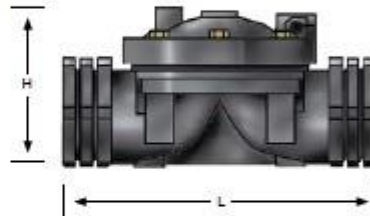
Plastic Control Valves Series 75

Direct-acting Diaphragm valve

Series 75, "GAL" plastic valves are designed for the control of irrigation systems of field crops, vineyards and orchards. The exceptional hydraulic characteristics of the mod.75 enable very high flow rates, at low head losses. Wide range of control functions, allows the design of the irrigation networks to optimal operation.

Features and Benefits

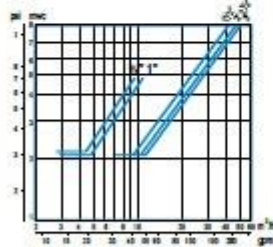
- Structural simplicity
- Superb hydraulic performance
- Reliable control of corrosive liquids
- Light-weight, cost-saving
- Minimum maintenance - maximum dependability



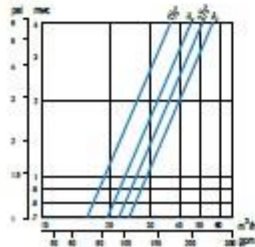
Technical Data

Pressure losses

2-W



3-W



Dimensions

Dimension		20mm, 3/4"	25mm, 1"	32mm, 1 1/4"	40mm, 2"	50mm, 2 1/4"	60mm, 3"
Height (H)	mm	70	73	110	110	119	120
	Inch	2 3/4	2 7/8	4 3/8	4 3/8	4 3/4	4 3/4
Length (L)	mm	113	124	188	190	228	236
	Inch	4 1/2	4 7/8	7 3/8	7 1/2	9	9 1/4
Vol. control chamber	cc	38		180			
	gal	0.01		0.05			
Weight	kg	0.2		0.9		1.2	1.4
	lbs	0.44		2		2.6	3.1

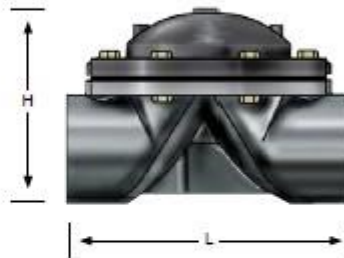
Operation data

		20mm, 3/4"	25mm, 1"	32mm, 1 1/4"	40mm, 2"	50mm, 2 1/4"	60mm, 3"
Max. Flow	m ³ /hr	8	10	25	40	85	90
	gpm	20	44	110	170	285	306
Pressure range	bar	1 - 8		1.5 - 10			
	psi	15 - 115		22 - 145			
Max. Water Temp.	°C	60					
	°F	145					

uPVC Valves

The uPVC valves, models 95 (threaded) and 96 (solvent welded directly to the pipe) are made for high-flow irrigation plots and flood tables. The direct- attachment to the PVC pipelines and the optional underground installation, save cost of valve configurations and reduce head losses. Unique diaphragm design generates surge- free closure even at high velocities.

Unique hydrodynamic design allows exceptionally low pressure losses at high flow rates, stable regulation from maximal to near zero flows, surge-free closure and simple, minimal maintenance.

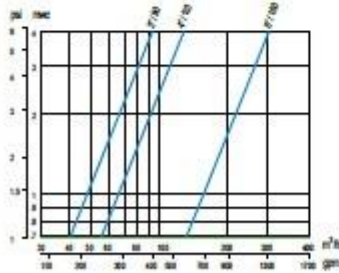


Features and Benefits

- Structural simplicity
- Superb hydraulic performance
- Reliable control of corrosive liquids
- Light-weight, cost-saving
- Minimum maintenance - maximum dependability

Technical Data

Pressure losses



Dimensions

Dimension		90mm, 3"	110mm, 4"	160mm, 6"
Height (H)	mm	195	202	380
	inch	7 ⁷ / ₁₆	7 ¹⁵ / ₁₆	14 ¹⁵ / ₁₆
Length (L)	mm	258	278	360
	inch	10 ¹ / ₁₆	10 ¹¹ / ₁₆	14 ¹ / ₁₆
Vol. control chamber	lit	2.6	2.6	9.9
	gal	0.7	0.7	2.6
Weight	kg	4	4.2	11.8
	lbs	8.8	9.2	26

Operation data

		90mm, 3"	110mm, 4"	160mm, 6"
Max. Flow	m ³ /hr	90	160	350
	gpm	400	700	1540
Pressure range	bar	0.5 - 8		0.5 - 10
	psi	9 - 115		7 - 145
Max. Water Temp.	°C	40		
	°F	104		

Anexo 5

Curva de rendimiento del motor seleccionado



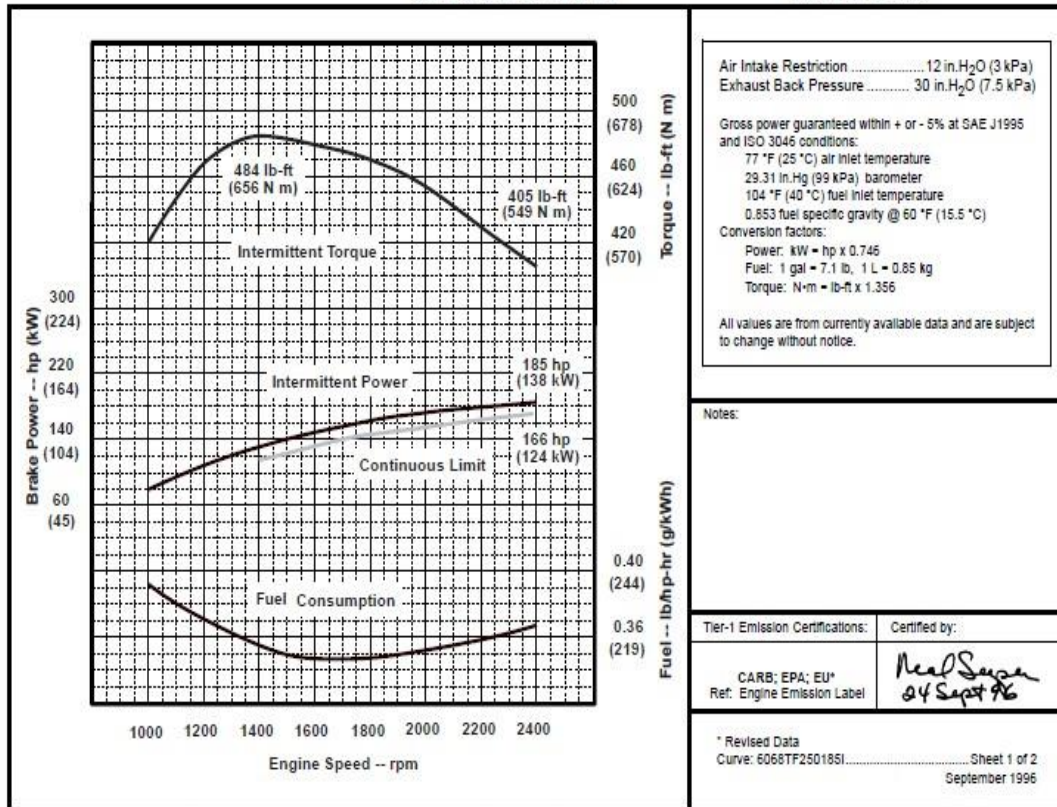
ENGINE PERFORMANCE CURVE

Rating: Gross Power

Application: Industrial
Intermittent / Continuous

POWERTECH 6.8L Engine
Model: 6068TF250

185 hp @ 2400 rpm
138 kW @ 2400 rpm
[Option 1615 / 1686]



Anexo 6

Velocidades en las tuberías por cada turno de riego

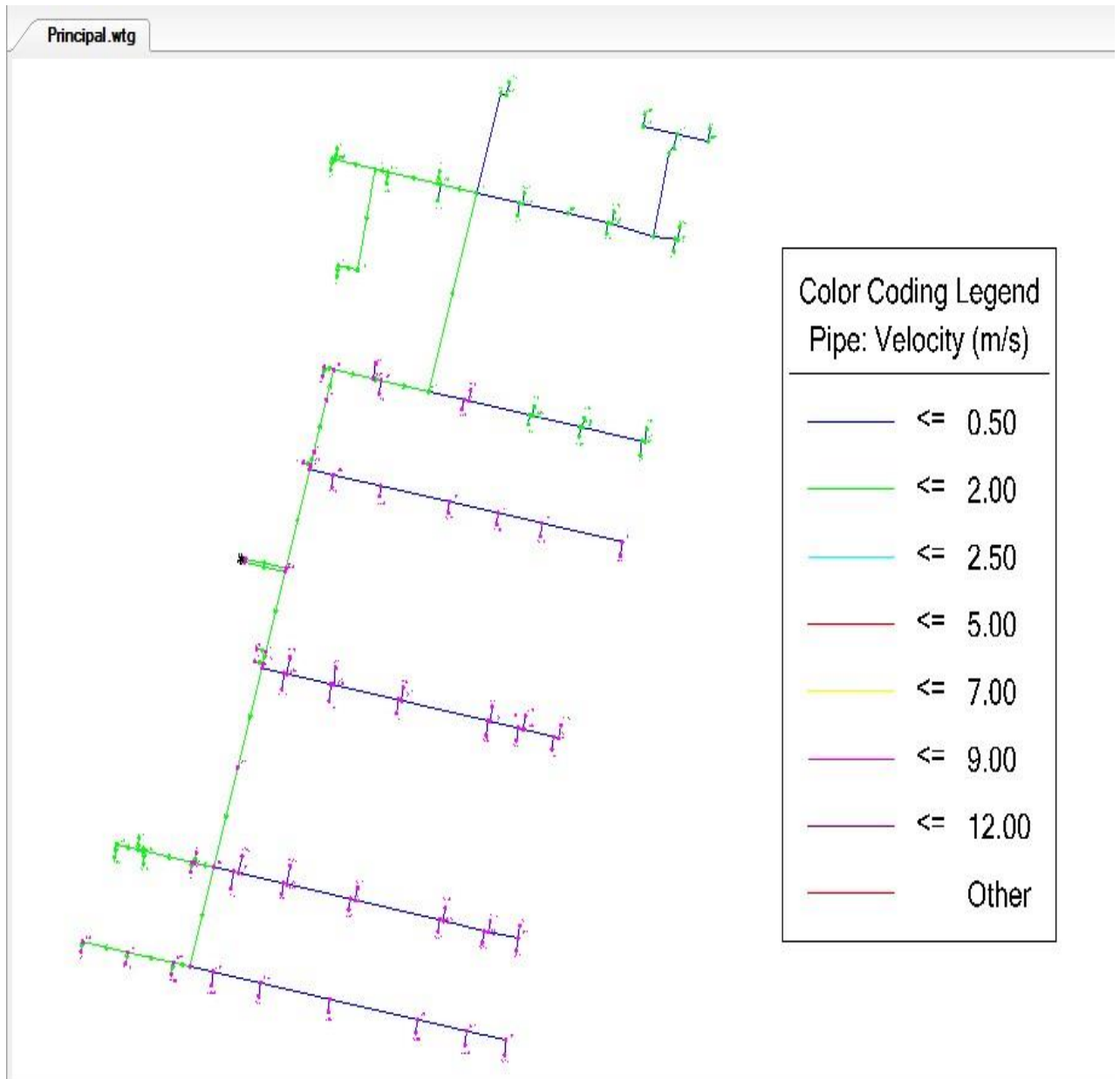


FIGURA 36 VELOCIDADES EN LA TUBERÍA PRINCIPAL PARA EL TURNO 1

Elaborado con: WaterCAD V8i

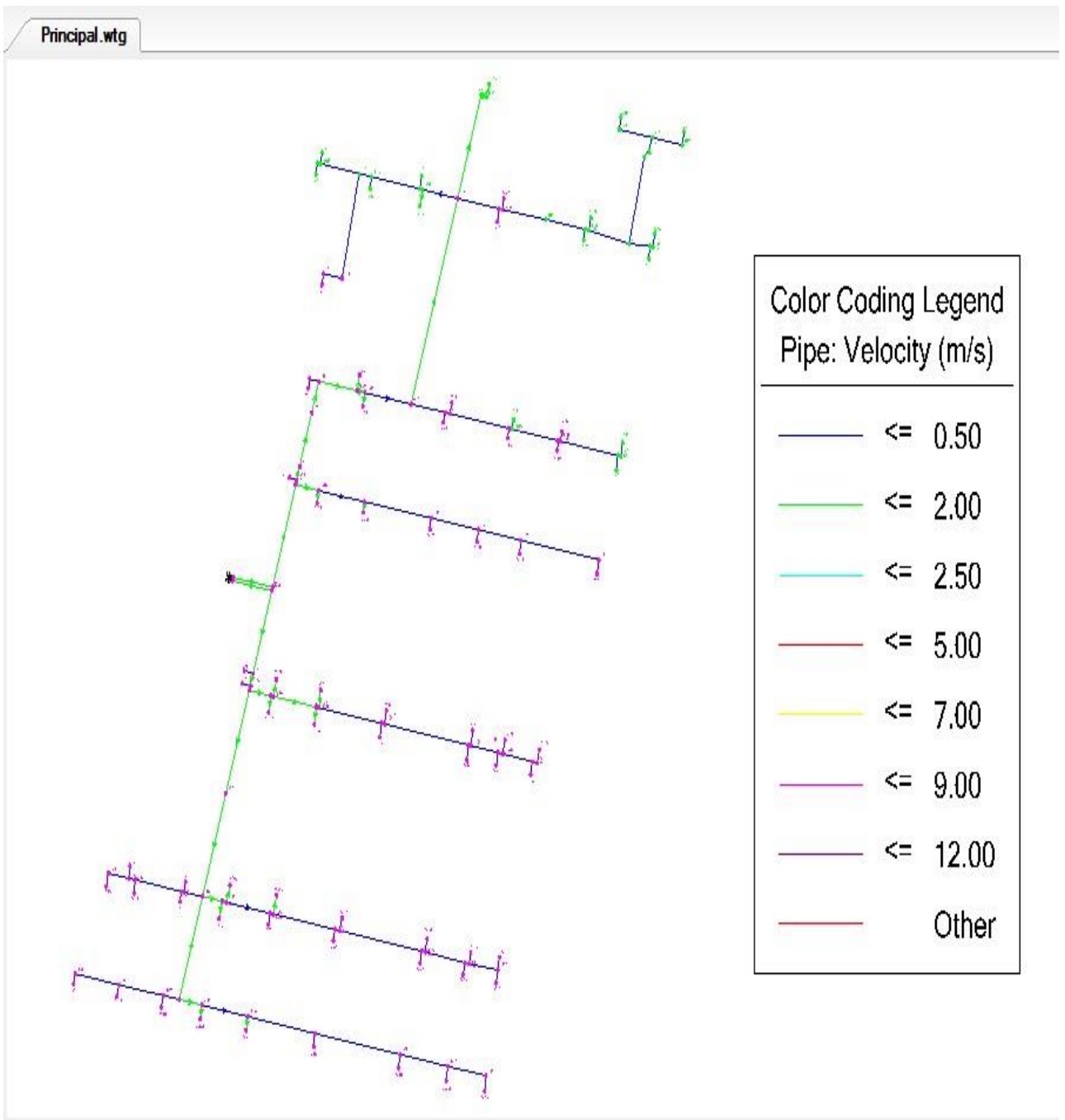


FIGURA 37 VELOCIDADES EN LA TUBERÍA PRINCIPAL PARA EL TURNO 2

Elaborado con: WaterCAD V8i

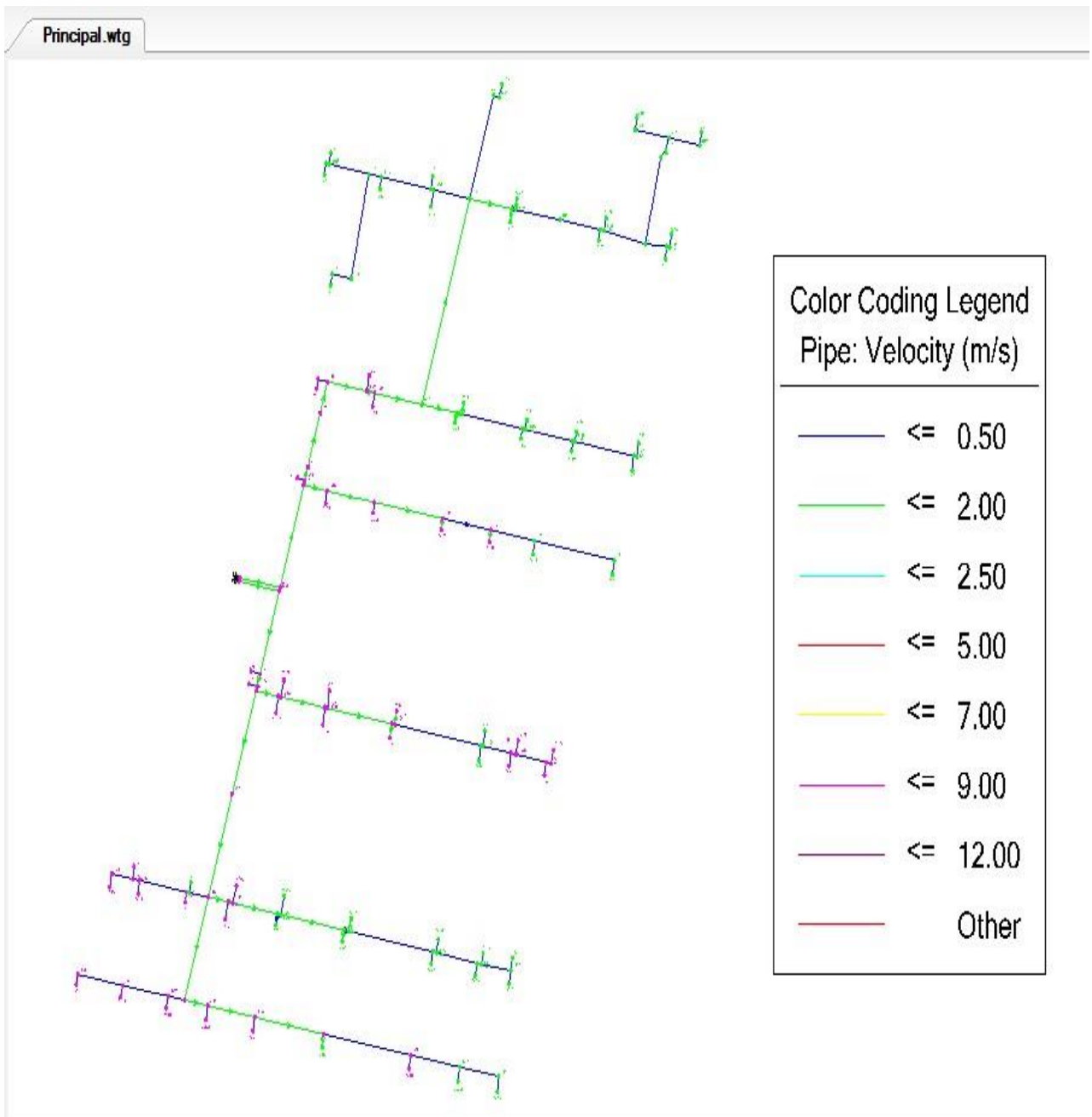
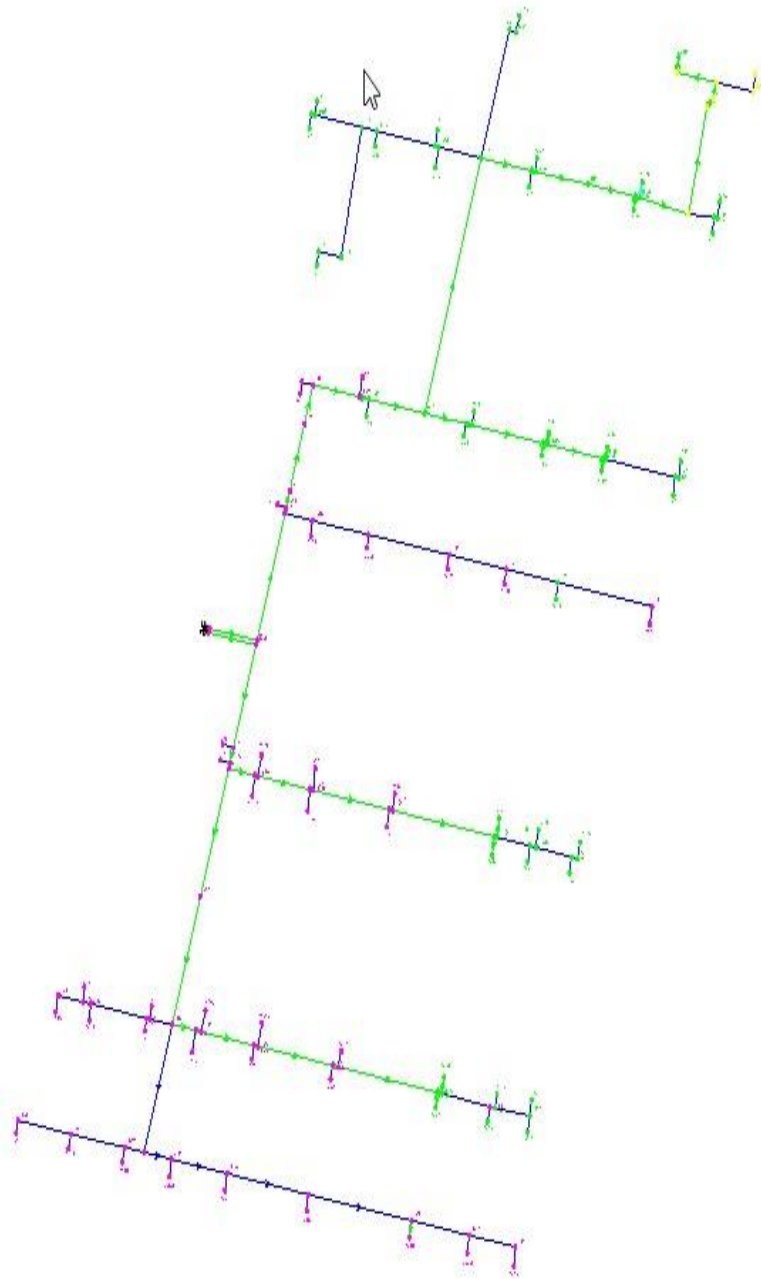


Figura 38 Velocidades en la tubería principal para el turno 3

Elaborado con: WaterCAD V8i



Color Coding Legend	
Pipe: Velocity (m/s)	
	<= 0.50
	<= 2.00
	<= 2.50
	<= 5.00
	<= 7.00
	<= 9.00
	<= 12.00
	Other

FIGURA 39 VELOCIDADES EN LA TUBERÍA PRINCIPAL PARA EL TURNO 4

Elaborado con: WaterCAD V8i

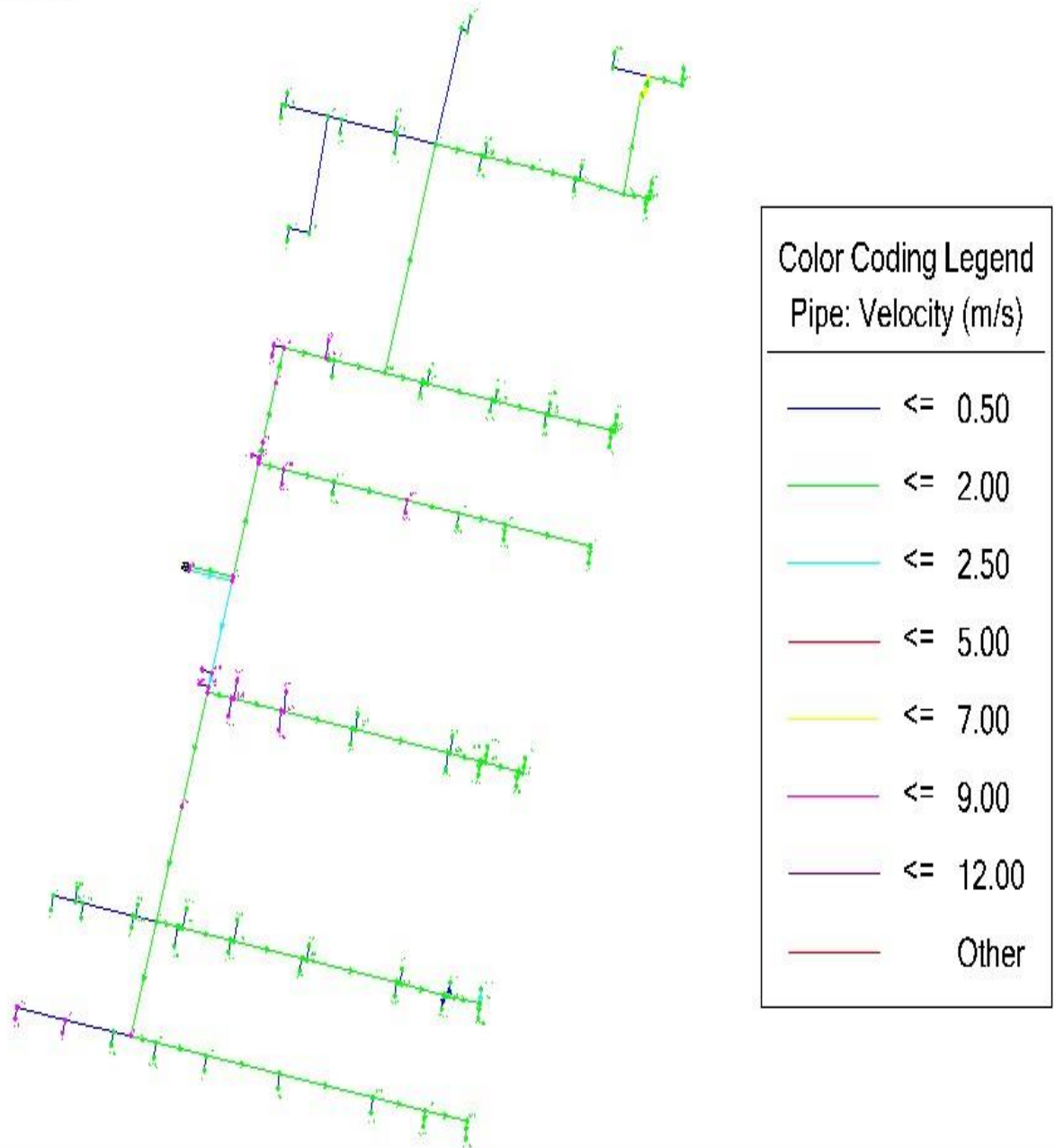


FIGURA 40 VELOCIDADES EN LA TUBERÍA PRINCIPAL PARA EL TURNO 5

Elaborado con: WaterCAD V8i

Anexo 7

Cuadros de Operación Mensual del Proyecto

CUADRO 15 PLAN OPERACIÓN ENERO

Plan de Operación para el mes de Enero																																								
Semana	1							2							3							4							5											
Día	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom					
Turno	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom					
1	8					8					8					8					8									8										
2		8					8					8					8						8				8					8						8		
3			8					8					8					8								8		8												
4				8					8					8					8										8					8						8
5					8					8					8					8										8					8					

Se indica el número de horas diarias necesarias para suplir la lámina requerida, así como la frecuencia de riego en cada turno

CUADRO 16 PLAN OPERACIÓN FEBRERO

Plan de Operación para el mes de Febrero																																							
Semana	1							2							3							4																	
Día	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom											
Turno	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom											
1	6						6				6				6							6										6							
2	6						6				6				6							6										6							
3		6										6					6								6		6												
4		6										6					6								6		6												
5			6					6					6					6										6											6

Se indica el número de horas diarias necesarias para suplir la lámina requerida, así como la frecuencia de riego en cada turno

CUADRO 17 PLAN OPERACIÓN MARZO

Plan de Operación para el mes de Marzo																																			
Semana	1							2							3							4							5						
Día	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
Turno	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
1	7					7					7							7							7								7		
2	7					7					7							7							7								7		
3	7					7					7							7							7								7		
4		7					7					7							7						7									7	
5		7					7					7							7						7									7	

Se indica el número de horas diarias necesarias para suplir la lámina requerida, así como la frecuencia de riego en cada turno

CUADRO 18 PLAN OPERACIÓN ABRIL

Plan de Operación para el mes de Abril																																			
Semana	1							2							3							4							5						
Día	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
Turno	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
1	8					8					8							8							8								8		
2	8					8					8							8							8								8		
3		8					8					8							8						8									8	
4		8					8					8							8						8									8	
5			8					8					8					8								8					8				

CUADRO 19 PLAN OPERACIÓN MAYO

Plan de Operación para el mes de Mayo																																							
Semana	1							2							3							4							5										
Día	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom				
Turno	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom				
1	5					5					5					5					5									5						5			
2	5					5					5					5					5									5						5			
3		5					5					5					5					5				5					5						5		
4		5					5					5					5					5				5					5						5		
5			5					5					5					5					5				5					5					5		
Se indica el número de horas diarias necesarias para suplir la lámina requerida, así como la frecuencia de riego en cada turno																																							

CUADRO 20 PLAN OPERACIÓN NOVIEMBRE

Plan de Operación para el mes de Noviembre																																							
Semana	1							2							3							4							5										
Día	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom				
Turno	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom				
1	7					7					7					7					7									7						7			
2	7					7					7					7					7									7						7			
3		7					7					7					7					7				7					7						7		
4		7					7					7					7					7				7					7						7		
5			7					7					7					7					7				7					7					7		
Se indica el número de horas diarias necesarias para suplir la lámina requerida, así como la frecuencia de riego en cada turno																																							

CUADRO 21 PLAN OPERACIÓN DICIEMBRE

Plan de Operación para el mes de Diciembre																																							
Semana	1							2							3							4							5										
Día	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom				
Turno	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom				
1	9					9					9					9					9									9									
2		9					9					9					9					9				9					9					9			
3			9					9					9					9							9		9										9		
4				9					9					9					9								9					9					9		
5					9					9					9						9							9					9					9	
Se indica el número de horas diarias necesarias para suplir la lámina requerida, así como la frecuencia de riego en cada turno																																							

Anexo 8

Fotografías del área del proyecto



FIGURA 41. SURCOS DE SIEMBRA EN EL CAMPO



FIGURA 42 VISTA GENERAL FINCA PUYUMATE



Figura 43 Profundidad de instalación de la cinta de goteo

Anexo 9

Distribución de válvulas reguladoras y bloques de riego

Anexo 10

Plano general del diseño propuesto