

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



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.

DISEÑO Y SELECCIÓN DE DOS SISTEMAS DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN Y GOTEO PARA RAMBUTÁN (*Nephelium Lappaceum L.*) EN LA ZONA DE QUEPOS.

JOSE EDUARDO MURILLO BOLAÑOS

CARTAGO, 2018

DISEÑO Y SELECCIÓN DE DOS SISTEMAS DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN Y GOTEO PARA RAMBUTÁN (*Nephelium Lappaceum L.*) EN LA ZONA DE QUEPOS.

JOSE EDUARDO MURILLO BOLAÑOS

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

Milton Solórzano Quintana

Asesor

Marvin Villalobos Araya

Director Escuela
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2018

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico enteramente a mis amados padres Victoria y Jose Carlos dado que son ellos quienes han hecho posible que haya logrado llegar a culminar mis estudios, he sido testigo de su esfuerzo y sus sacrificios para lograr darme a mí lo que mis abuelos no les pudieron dar a ellos.

Además, a mis hermanos María Jesús y Francisco y también a Charlie quienes fueron testigos de inicio a fin de todas mis vivencias como estudiante donde me acompañaron cuando trasnochaba y me ayudaron en lo que pudieron siempre que los necesité.

AGRADECIMIENTO

Primero que todo doy gracias a Dios quien creo fielmente iluminó mi camino con sabiduría y determinación para culminar un viaje que ha sido bastante largo y difícil en muchos sentidos.

A Lorena Cerdas, gerente del Dpto. de Riego en Durman por abrirme las puertas de la empresa, a Ignacio Mena quien me ayudo hasta mas no poder con el desarrollo de mi proyecto y además a Rebeca, Mauricio y Orlando quienes me ayudaron cada vez que necesité de ellos para resolver

A Doña Milagro, Don Fernando, Omar y Ariana quienes fueron mi segunda familia desde que me fui a vivir a Cartago, desde el primer día me dieron la bienvenida a su casa y nunca hicieron nada más que ver cómo ayudarme en lo que fuera, desde ahorrarme un almuerzo o cena de vez en cuando hasta salvarme con la factura de una clínica en una emergencia, esa disposición de ayudar sin interés, la agradezco de todo corazón; además puntualmente le doy gracias a Ari que como mi novia, siempre se ha encargado de recordarme que puedo ser mejor de lo que soy cada día y de apoyarme en todo momento que la he necesitado.

A mis amigos Lucho, Sebas, Marco, Luisdi, Omar y Jenny quienes a pesar de estar 4 años prácticamente alejado del grupo nunca me dieron por menos y estuvieron ahí para ayudarme y apoyarme en cualquier momento, además a mi eterna amiga Laura, Kerin, Gary, Alon, Mariah y Chumi con quienes compartí más de una noche sin dormir y muchas carnitas asadas.

A Katherine Palma del departamento de sicología quien me ayudo a poner en orden mis pensamientos y temores, quien trabajó conmigo durante meses con paciencia y dedicación para ayudarme a superar problemas académicos y personales durante mis años en el TEC, puedo decir que con ayuda de Katherine mejoré como estudiante y como persona; Finalmente a todo el personal de la escuela de Ingeniería Agrícola quienes desde Evelyn, Gerardo (QEPD), Randall, Rafita o Memo hasta cada uno de los profesores me ayudaron en algún momento, a la profesora Natalia quien me guio toda la carrera como mi tutora, la profesora Karolina quien nos impulsó a pensar más allá y exponer nuestro trabajo fuera del país, a Fernando Watson quien considero un modelo a seguir; Milton quien con mucha paciencia me guió como asesor de este trabajo y finalmente a Marvin quien considero fue mi profesor más influyente al siempre exigirnos más de lo normal y poner el extra para trabajar con excelencia y ética.

INDICE GENERAL

1	RESUMEN	11
2	INTRODUCCIÓN	14
3	OBJETIVOS	16
3.1	OBJETIVO GENERAL	17
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4	REVISIÓN DE LITERATURA	18
4.1	El Rambután	19
4.2	El Rambután en Costa Rica	20
4.3	Generalidades del Rambután	21
4.3.1	Descripción botánica	22
4.3.2	Clima	22
4.3.3	Variedades del Rambután en Costa Rica	23
4.3.4	Suelo	24
4.3.5	Distancia de siembra	24
4.4	Riego Localizado	24
4.4.1	Goteo	25
4.4.2	Microaspersión	25
4.4.3	Emisores para Riegos Localizados de Alta Frecuencia	26
4.5	Bulbo Humedecido	26
4.6	Factores para tomar en cuenta para el diseño e instalación de un sistema de riego localizado	27
4.7	Diseño Agronómico	27
4.7.1	Evaporación	28
4.7.2	Transpiración	29
4.7.3	Evapotranspiración	29
4.7.4	Variables Climáticas	30
4.7.5	Factores de cultivo	31
4.7.6	Método de Penman – Monteith	32
4.7.7	Coeficiente de cultivo (Kc)	32
4.8	Diseño hidráulico	33

4.9	Cabezal de Riego.....	34
4.9.1	Componentes de un cabezal de riego.....	34
4.9.2	Factores para su instalación.....	34
4.10	Equipo de bombeo.....	35
4.11	Pérdidas de carga.....	36
4.12	Utilización de energía solar.....	37
4.13	Clasificación de válvulas.....	38
4.14	Equipo de filtrado.....	39
4.15	Clasificación de filtros.....	40
4.16	Mantenimiento del sistema.....	43
4.17	Golpe de Ariete.....	45
4.18	Software utilizado en el proceso de diseño.....	46
4.18.1	CLIMWAT.....	46
4.18.2	CROPWAT.....	46
4.18.3	Surfer 13.....	47
4.18.4	Google Earth.....	47
4.18.5	TCX Converter.....	47
4.18.6	AutoCAD Civil 3D 2016.....	47
4.18.7	AutoCAD 2016.....	48
4.18.8	EPANET 2.0.....	48
5	METODOLOGÍA.....	49
5.1	Materiales.....	51
5.2	Análisis del terreno.....	51
5.3	Diseño de riego por microaspersión.....	52
5.3.1	Diseño agronómico.....	53
5.3.2	Diseño Hidráulico.....	56
5.3.3	Diseño de la Tubería Principal.....	61
5.3.4	Análisis de presiones.....	61
5.3.5	Carga dinámica total.....	62
5.4	Diseño del sistema de riego por goteo.....	64
5.4.1	Diseño agronómico.....	64

5.4.2	Diseño hidráulico.....	68
5.4.3	Análisis de presiones	69
5.5	Modelación hidráulica con EPANET.....	70
5.6	Análisis de golpe de ariete	71
5.7	Análisis económico	72
5.8	Análisis ambiental.....	74
6	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	75
6.1	Análisis del terreno	76
6.2	Determinación del consumo neto.....	78
6.3	Diseño de Riego por microaspersión	80
6.3.1	Diseño agronómico	80
6.3.2	Diseño hidráulico.....	82
6.4	Diseño de Riego por Goteo	96
6.4.1	Diseño agronómico	96
6.4.2	Diseño hidráulico.....	98
6.5	Modelación hidráulica con EPANET.....	105
6.6	Análisis del golpe de Ariete	107
6.7	Análisis económico	110
6.8	Análisis ambiental.....	118
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
8	BIBLIOGRAFÍA	123
9	ANEXOS	127

Índice de Figuras

Figura 1. Fruto de Rambután	19
Figura 2. Mapa Región Brunca	20
Figura 3. Ubicación del cantón de Quepos	21
Figura 4. Variedades de Rambután y sus características	23
Figura 5. Bulbos mojados según la textura del suelo	27
Figura 6. Evaporación del suelo en relación al desarrollo de área foliar	30
Figura 7. Variación del índice de cultivo Kc según las etapas fenológicas de un cultivo	31
Figura 8. Partes del sistema de bombeo	36
Figura 9. Funcionamiento de un filtro hidrociclónico	40
Figura 10. Funcionamiento de un filtro de arena	41
Figura 11. Funcionamiento de un filtro de malla	42
Figura 12. Funcionamiento de un filtro de anillas	42
Figura 13. Imagen satelital de la finca, coordenadas WGS 84	50
Figura 14. Disposición de los espaciamientos para dos líneas de goteros en el campo	65
Figura 15. Plano curvas de nivel del levantamiento topográfico	76
Figura 16. Plano de curvas de nivel con escala a color [m.s.n.m]	77
Figura 17. Plano de curvas de nivel sobre el área del proyecto	78
Figura 18. Plano de división de áreas	82
Figura 19. División de operaciones en cada turno de riego	82
Figura 20. Válvula clásica utilizada en propuesta de Microaspersión	84
Figura 21. Filtro Jimten X-257	88
Figura 22. Funcionamiento del filtro Jimten X-257	88
Figura 23. Dimensionado de la batería de dos filtros Jimten en milímetros	89
Figura 24. Válvula Bermat IR-215-MZ	89
Figura 25. Plano hidráulico del cabezal de riego	90
Figura 26. Curva de rendimiento de la bomba Barnes HG 3 130 HF	92
Figura 27. Horas solares para la ubicación del Proyecto	93
Figura 28. Curva de rendimiento de la bomba Barnes HG 2 95-2 KL	95
Figura 29. Curva de Rendimiento de la bomba Grundfos 85S100-7 3"	96
Figura 30. División de áreas de la propuesta de goteo	98
Figura 31. Válvula clásica para propuesta de goteo	99
Figura 32. Curva de rendimiento bomba Barnes AD 2 50 HF	103
Figura 33. Modelación de la propuesta con microaspersión	105
Figura 34. Modelación de la propuesta con goteo	105
Figura 35. Modelación del funcionamiento de la válvula más cercana de la propuesta de microaspersión	106
Figura 36. Modelación de la válvula más cercana de la propuesta de goteo	107
Figura 37. Precios del kg de Rambután durante el 2017	112

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Clasificación del Rambután	21
Cuadro 2. Selección de sistema de filtrado según tipo de partículas en el agua.....	43
Cuadro 3. Factores de Cultivo (CF) según la etapa de crecimiento del Rambután	52
Cuadro 4. Valores de factor f según número de salidas y tipo de material	57
Cuadro 5. Valores de PAR para distintas líneas de goteo según caudal y textura de suelo	66
Cuadro 6. Valores para realizar de manera correcta la evaluación ambiental según el método de Arboleda.....	74
Cuadro 7. Diámetros de dosel para distintas edades de Rambután	79
Cuadro 8. Consumo neto recomendado según la etapa de cultivo	79
Cuadro 9. Datos básicos para el diseño agronómico	80
Cuadro 10. Resumen de resultados del diseño agronómico para la propuesta de microaspersión	81
Cuadro 11. Diámetro mínimo del aspersor	83
Cuadro 12. Características del microaspersor Rain Bird Micro-Bird Spinner	83
Cuadro 13. Pérdidas admisibles utilizadas en el diseño	85
Cuadro 14. Resultados del diseño hidráulico.....	85
Cuadro 15. Resultados de diseño Tubería Principal	86
Cuadro 16. Resultados del análisis de presiones	86
Cuadro 17. Resultados de la Carga Dinámica Total	91
Cuadro 18. Características de los paneles solares Yingli Solar	93
Cuadro 19. Información para la selección de la segunda bomba de combustión	94
Cuadro 20. Porcentaje de área bajo riego PAR	96
Cuadro 21. Características de la manguera autocompensada VERED 16.....	97
Cuadro 22. Resultados del diseño agronómico.....	97
Cuadro 23. Resultados del factor f de goteo	100
Cuadro 24. Resultados de las pérdidas en el lateral.....	100
Cuadro 25. Resultados del diseño de la Múltiple	101
Cuadro 26. Resultados de presión en la válvula	101
Cuadro 27. Resultados del diseño de la Principal.....	102
Cuadro 28. Carga dinámica total de la propuesta de riego	103
Cuadro 29. Datos obtenidos del análisis de golpe de ariete para la propuesta de microaspersión	108
Cuadro 30. Datos obtenidos del análisis de golpe de ariete para la propuesta de goteo.....	109
Cuadro 31. Inversión para la propuesta de Microaspersión con operación manual	110
Cuadro 32. Inversión para la propuesta de Microaspersión con operación automática.....	111
Cuadro 33. Inversión para la propuesta de Goteo con operación manual	111
Cuadro 34. Actividades e insumos tomados en cuenta para obtener el costo productivo por hectárea	113
Cuadro 35. Costos proyectados a cinco años.....	113

Cuadro 36. Ganancias proyectadas a cinco años	114
Cuadro 37. Depreciaciones y otros valores utilizados en el análisis económico del proyecto	114
Cuadro 38. Análisis económico de la propuesta de Microaspersión con operación manual..	115
Cuadro 39. Análisis económico de la propuesta de Microaspersión con operación automática	116
Cuadro 40. Análisis económico de la propuesta de Goteo	117
Cuadro 41. Matriz del Evaluación de Impacto Ambiental con el método de Arboleda	118

1 RESUMEN

El trabajo realizado constó del diseño de dos propuestas (una de riego por goteo y otra con riego por microaspersión) para un sistema de riego solicitado por un cliente a la empresa privada Durman Esquivel para regar 17.6 hectáreas de Rambután en el cantón de Quepos, Puntarenas, Costa Rica; el riego debe de servir como complemento dado que la zona aporta la precipitación que necesita el cultivo, además, el deseo del cliente fue que el sistema estuviera completamente desconectado de la red de eléctrica de manera que tanto el llenado del reservorio como el funcionamiento del riego debieron realizarse sin consumir energía del mismo; para el diseño de las propuestas se utilizó el concepto de la válvula clásica, el cual permitió analizar en un área pequeña los aspectos hidráulicos y económicos del proyecto completo; por las características de las bombas solares disponibles, las opciones fueron combinar el bombeo solar con un bombeo de apoyo secundario desde un río o aceptar la conexión a la red eléctrica para instalar una única bomba sumergible de mayor potencia en el caso de la microaspersión y únicamente bombeo solar en el caso de goteo, económicamente resultó más rentable el sistema de goteo, sin embargo es más recomendable instalar la propuesta de microaspersión; el proyecto en general posee un impacto ambiental irrelevante y un impacto social favorable dado que al ser una agrocadena afecta directamente la economía regional en varios aspectos.

Palabras clave: Bombeo a gasolina, Bombeo solar, Goteo, Microaspersión, Rambután, Riego.

Abstract

The work carried out consisted of the design of the irrigation system by the private company Durman Esquivel to irrigate 17.6 hectares of Rambutan in the canton of Quepos, Puntarenas, Costa Rica; the irrigation must be used as a complement because the area provides the precipitation needed by the crop, in addition, the client's wish was that the system was completely disconnected from the electrical network so the filling of the reservoir as the operation of the irrigation system had to work without consuming energy from it; for the design of the proposals the concept of the classic valve is used, which allows to analyze in a small area the hydraulic and economic aspects of the complete project; due to the characteristics of the available solar pumps, the options were to combine the solar pumping with a secondary support pumping from a river nearby or accept the connection to the electric network to install a single submersible pump of greater power; in the case of the micro sprinkler system and only solar pumping in the drip case, economically the drip system worked more profitably speaking, however it is more appropriate to install the microaspersion proposal; the project in general has an irrelevant environmental impact and a favorable social impact given that being an agro-chain directly affects the regional economy in several aspects.

Keywords: Fuel Pumping, Solar Pumping, Dripping, Micro Sprinkler. Rambutan, Irrigation.

2 INTRODUCCIÓN

En el presente informe se presenta el diseño de dos sistemas de riego localizado para el cultivo de Rambután con el fin de elegir el más viable en la zona de Parrita, Puntarenas, el Rambután es un árbol tropical de tamaño mediano de origen asiático que se ha adaptado bastante bien en distintas de sus variedades a los climas tropicales como Costa Rica y Honduras.

La finalidad de dichos diseños es funcionar como complemento dado que la plantación se encuentra en un lugar que sule de manera natural las necesidades hídricas del cultivo, sin embargo, teniendo la posibilidad de aplicar agua cuando se desee, se pueden aplicar ciertas prácticas culturales en el cultivo que permiten adelantar la floración sin depender de la lluvia.

En Costa Rica y Centroamérica, el Rambután es un cultivo en auge dado que ha encontrado un fuerte nicho como fruta tropical en el mercado de los Estados Unidos, por lo que fomentar prácticas que permitan a más agricultores involucrarse en este nicho ayuda a evitar monocultivos como la Palma aceitera que se da en condiciones climáticas similares y también a fortalecer la economía a través de las exportaciones; las zonas dentro del país que se prestan para el cultivo del mismo son básicamente el pacífico sur y algunas partes del pacífico central.

Con este informe se pretende ayudar a los productores nacionales estableciendo una metodología que permita implementar diseños de riego localizado para Rambután que además está hecha con alternativas de bombeo para lugares donde no haya acceso a energía eléctrica o donde la misma no sea constante, problemática en bastantes lugares agrícolas de Costa Rica.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar dos sistemas de riego para el cultivo de Rambután (*Nephelium Lappaceum L.*)

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diseño de riego por microaspersión para el cultivo de Rambután
- Realizar un diseño de riego por microaspersión para el cultivo de Rambután
- Seleccionar entre ambos diseños el más viable económicamente y además tomando en cuenta factores adicionales como dificultad de instalación y de operación para su implementación.
- Analizar los impactos ambientales, sociales y económicos que puedan influir en la implementación del proyecto.

4 REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 El Rambután

Las frutas tropicales se producen en las zonas tropicales o subtropicales debido a las específicas condiciones que requieren los cultivos y que dichas zonas poseen por naturaleza, por lo general no soportan el frío que según Arias Et al. (2016) puede ocasionar trastornos en su desarrollo. Son a menudo llamadas frutas exóticas en los países donde son importadas y consumidas; aunque esta condición no hace referencia a ninguna situación y no designa que procede de un lugar particular.

El cultivo de frutas tropicales en el mundo ocupa un lugar importante en los mercados internacionales, cada vez aumenta más su producción, así según (FAO, 2001) en la década año 2000, las principales frutas tropicales de mayor comercio en el mundo fueron: mango, piña, papaya y aguacate, representando aproximadamente el 75% de la producción mundial de frutas tropicales y el 90% de las exportaciones de fruta fresca.

“El rambután (*Nephelium lappaceum* L.) (Figura 1) es un frutal exótico originario de Malasia e Indonesia, cuyo fruto fresco se consume cada vez más en los países centroamericanos, aunque su cultivo aún no ha alcanzado una amplia distribución en ninguno de ellos. Sin embargo, al igual que los pastos y otros cultivos perennes (cacao, café), este frutal constituye una de las alternativas reales para la transformación de diferentes agroecosistemas que se encuentran fuertemente degradados” (MAG, 2007)



Figura 1. Fruto de Rambután

Fuente: tollupol.com

4.2 El Rambután en Costa Rica

“El rambután es una fruta tropical que se cultiva en las zonas del trópico húmedo, desde el nivel del mar hasta 900 msnm. En el país este cultivo se produce desde los años cuarenta, cuando fue introducido por la Standard Fruit Company, en la zona de Golfito, Zona Sur.” (Laurent, 2011)

“En Costa Rica la región Brunca (Figura 2) es la que ha acogido el cultivo de rambután desde que se indujo al país dado que esta zona posee las condiciones edafo-climáticas para el correcto desarrollo del mismo, dichas condiciones han hecho que desde hace 30 años se hayan sembrado más de 800 hectáreas en dicha región, el cantón de Quepos (Número 6 de la provincia de Puntarenas) se encuentra bastante cerca de la región Brunca como se aprecia en la zona morada de la Figura 3 y posee condiciones bastante similares para el cultivo al punto de que ahí también se siembra a gran escala Palma Africana, cultivo que es la principal actividad económica de la región Brunca.” (Laurent, 2011)



Figura 2. Mapa Región Brunca

FUENTE: conociendoregionbrunca2012.blogspot.com



Figura 3. Ubicación del cantón de Quepos

FUENTE: mapasamerica.dices.net

“El rambután ha tomado auge en los últimos años ante la situación prevaleciente y las posibilidades de este como cultivo que ofrece expectativas tanto en el mercado nacional como el internacional. El mercado del producto costarricense ha sido en los últimos años Centroamérica y Los Estados Unidos de Norte América. Este último se ve como la meta de los productores ya que los precios son mejores sin embargo para acceder este mercado se necesita avanzar en mejoras genéticas de materiales y técnicas más apropiadas del cultivo.” (MAG, 2007)

4.3 Generalidades del Rambután

Cuadro 1. Clasificación del Rambután

Nombre del producto en español:	Rambutan
Nombre del producto en Inglés:	Rambutan
Familia:	Sapindáceas
Género:	Nephelium
Especie:	Lappaceum
Nombre Científico:	<i>Nephellium Lappaceum</i>

Fuente: (Ruiz, 2007)

4.3.1 Descripción botánica

En el plan Estratégico de la cadena productiva de Rambután de MAG (2007) se describe el Rambután como un árbol con alturas entre los 15 y 25 metros con diámetros de tronco desde 40 cm hasta los 60 cm; posee hojas pinnadas y alternas de 7 a 30 cm, largo con raquis rojizo, velludas cuando jóvenes con 1 a 4 par de hojuelas alternas o sub-opuestas. Estas son elípticas o oblongo – elípticas, algunas son oblicuas hacia la base; de color verde claro tornándose en oscuras cuando maduran.

“Las flores son de tres tipos, masculinas, hermafroditas que funcionan como macho y hermafroditas que funcionan como hembra, nacen en las axilas de las hojas o al final del crecimiento. Los frutos son ovoides o elipsoides de color rojo claro a intenso con variaciones en tonalidades, también los hay de color amarillo cubiertos de espinaretes de color amarillo, verde o rojo.” (Moreno, 2013)

4.3.2 Clima

“En Costa Rica el Rambután se ha desarrollado muy bien en un clima tropical húmedo similar al de donde es originario, se siembra desde nivel del mar hasta los 800msnm en donde las precipitaciones estén en promedio de 3000 mm por año. Presenta esta zona una temperatura promedio de los 26 a los 32 °C con una buena luminosidad durante todo el año pero que es más necesaria en el momento de la maduración de fruto. La Humedad relativa es importante que sea alta para evitar la deshidratación de los frutos que afectaría la calidad de estos; en zonas ventosas debe considerarse la posibilidad de barreras rompevientos” (MAG, 2007).

Según Ruiz (2007), se recomienda sembrar de mayo a julio; La cosecha se da de julio a noviembre, y los meses de mayor cosecha son setiembre y octubre.

4.3.3 Variedades del Rambután en Costa Rica

En Costa Rica se trabaja con distintas variedades del Rambután, sin embargo únicamente con especies de buena calidad genética; la pluralidad de semillas se origina a los inicios del Rambután en Costa Rica, Vargas (2003) menciona que cuando la Standard Fruit Company lo introduce al país, debido al sistema de propagación sexual con el que tradicionalmente se multiplicó y dispersó el material, redundó en un sin número de variaciones de la calidad del fruto, en la mayoría de los casos, sin los requerimientos estipulados para su exportación como fruta fresca.

Posteriormente el mismo Vargas (2007) explica que a través de un esfuerzo conjunto de la Coalición Costarricense de Iniciativas de Desarrollo (CINDE) y el Proyecto de Apoyo Técnico a las Industrias de Exportación (PROEXAG II), se logran ingresar plantas injertadas provenientes de Australia con las especies R-134, R-162, R-167, Jitlee y algunos años después la variedad Rongrien; en el Cuadro 1 se resumen las diferencias entre algunas variedades del Rambután. (Moreno, 2013)

Cultivares	Forma y tamaño del fruto	Color	Textura del arilo
“Bangyeekhan”	Grande, ovalado	Rojo	Arriba del promedio
“Binjai”	Grande, ovalado	Rojo	Arriba del promedio
“Jitlee”	Medio	Rojo	Arriba del promedio
“Leebakbulus”	Grande, ovalado	Rojo-anaranjado	Promedio
“Rapijah”	Medio, redondo	Verde-amarillento	Arriba del promedio
“Rongrien”	Grande	Rojo	Arriba del promedio
R3 (“Guia batu”)	Medio, redondo	Rojo	Arriba del promedio
R134	Medio, redondo	Rojo	Arriba del promedio
R156 (“Muar Goding”)	Grande, redondo	Amarillo	Promedio
R160 (“Khaw Tow Bok”)	Medio, redondo	Rojo	Promedio
R161 (“Lee Long”)	Grande, ovalado	Rojo	Promedio
R162 (“Doun Hijau”)	Grande, ovalado	Rojo-naranja	Arriba del promedio
R163	Grande, ovalado	Amarillo	Promedio
R170 (“Deh Cheng”)	Grande, ovalado	Rojo	Promedio
“Seechompo”	Grande, ovalado	Rosáceo	Arriba del promedio
“Seenjonja”	Pequeño, ovalado	Rojo	Promedio
“Simancen”	Grande, redondo	Rojo	Promedio

Figura 4. Variedades de Rambután y sus características

Fuente: (Moreno, 2013)

4.3.4 Suelo

“El Rambután puede ser cultivado en varios tipos de suelos, siendo lo más recomendables los suelos profundos (mayor de 1m de profundidad), con buen drenaje, de textura media (contenido de arcilla entre 30 y 35%), con estructura granular a bloques angulares o sub-angulares con porosidad total de 50 a 60%, que permitan buena circulación de agua y aire, así como también una buena penetración del sistema radicular. Se debe evitar cultivar el Rambután en suelos arcillosos (contenidos mayores de 60% de arcilla), con poca permeabilidad, con posibilidades de estancamiento de agua y mala aireación, como también suelos arenosos, ya que generalmente son de baja fertilidad y bajo poder de retención de humedad. Se deben preferir suelos con buen contenido de materia orgánica, ligeramente ácidos con un pH de 5.5 a 6.5. el factor común que realmente deben compartir los suelos dedicados al cultivo de Rambután es un buen drenaje interno y superficial.” (Ruiz, 2007)

4.3.5 Distancia de siembra

Ruíz (2007) además menciona que lo más normal es encontrar espaciamientos entre 8 y 10 metros entre plantas propagadas por semillas, lo que permite una densidad de plantación de 100 a 156 plantas por hectárea; para plantaciones con árboles injertados, cuyo crecimiento es más compacto y reducido y que se manejan con podas, es más recomendable utilizar espaciamientos entre 6 y 8 metros para obtener una densidad de plantación de 156 a 278 plantas por hectárea; de acuerdo a la topografía es recomendado hacer arreglos espaciales cuadrados o rectangulares, siempre y cuando el terreno sea plano, en terrenos con pendientes mayores a 10% se recomienda establecer la plantación en triángulos realizando terrazas individuales para controlar la erosión y facilitar otras prácticas en el cultivo.

4.4 Riego Localizado

“Los riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) se caracterizan por dos hechos fundamentales: la localización y la alta frecuencia.

La localización consiste en que solo se humedece parte el volumen del suelo y se pretende que las raíces obtengan de ese volumen el agua y los nutrientes que necesitan.” (Pizarro, 1990)

Pizarro (1990) también menciona que la localización se manifiesta en modificar la evaporación y la transpiración, la distribución de las raíces, en un régimen especial de las sales etc. Además, la localización del riego casi obliga a que este se aplique con alta frecuencia, misma que tiene consecuencias importantes en el régimen de la humedad: el suelo se mantiene constantemente a una humedad elevada lo cual afecta la absorción de agua, concentración de sales y la aireación.

4.4.1 Goteo

“El riego con goteo consiste en la aplicación de agua al suelo por medio de mangueras delgadas o cintas de goteo que conducen el agua a presión. Esta sale en forma de gotas por los pequeños orificios hechos en la manguera o cintas, mojando el perfil de suelo desde donde las raíces lo toman con facilidad.

A diferencia del riego por aspersión y del riego por gravedad, en el riego por goteo el agua se aplica directamente en la zona donde las raíces de las plantas crecen, por lo que la economía de agua es muy alta, ya que el área entre las plantas y las hileras permanece seca, solo se moja la parte del suelo donde se encuentra la planta.” (Calvo, 2005)

4.4.2 Microaspersión

“El riego por aspersión puede definirse como la aplicación de agua en el campo en forma de lluvia artificial, mediante la cual se riega un cultivo, con la ventaja de que esa lluvia es controlada tanto en el tiempo como en intensidad.

El riego por microaspersión se refiere a la utilización de emisores de tamaño pequeño (microaspersores o microjets), que lanzan caudales mucho menores que los aspersores comunes y que operan a presiones muy bajas, con gran economía de agua y eficiencia de operación muy alta.” (Calvo, 2005)

4.4.3 Emisores para Riegos Localizados de Alta Frecuencia

Según Pizarro (1990) los emisores son los elementos más importantes de las instalaciones de RLAF y además los más delicados. Toda la dificultad de su diseño reside en el siguiente problema: dichos emisores deben proporcionar un caudal bajo con el final de que los diámetros de las tuberías, sobre todo los laterales sean reducidos; las grandes longitudes de estas tuberías empleadas en los RLAF hacen que un pequeño incremento en su diámetro encarezca de forma importante la instalación; por otra parte menciona que la presión de operación de los emisores no debe ser muy baja para minimizar el efecto que sobre la uniformidad del riego tienen los desniveles del terreno y las pérdidas de carga a lo largo de los laterales, estas condiciones, presión alta y bajo caudal producen desde un punto de vista exclusivamente hidráulico que los emisores deban tener un paso de agua pequeño lo cual entra en contradicción con el hecho de que se deben fabricar con el mayor diámetro de paso posible para evitar obturaciones que pueden ser uno de los mayores problemas de los RLAF.

4.5 Bulbo Humedecido

“Cuando el agua de los emisores empieza a fluir, cae sobre un área muy pequeña lo que crea un pequeño charco, bajo tierra el radio se va extendiendo a medida que el riego continua, cuanto más húmedo esté el suelo la velocidad de infiltración disminuye y aunque la conductividad hidráulica aumenta conforme se aproxima a la saturación, la disminución de la velocidad de infiltración favorece el incremento del radio del charco.

En los suelos pesados la velocidad de infiltración es menor que en los ligeros, esto hace que el radio del charco sea mayor con lo que el bulbo se extendería más horizontalmente donde en el caso inverso (suelo arenoso) el bulbo se extendería más verticalmente, en la Figura 5 se puede apreciar las distintas formas que puede adquirir el bulbo según el tipo de suelo.” (Pizarro, 1990)

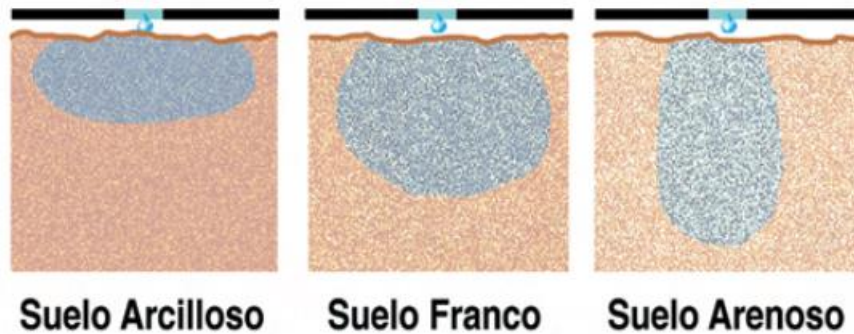


Figura 5. Bulbos mojados según la textura del suelo

Fuente: (Fernández, 2010)

4.6 Factores para tomar en cuenta para el diseño e instalación de un sistema de riego localizado

Antes de realizar un diseño de riego localizado, se deben conocer ciertos datos que permitan realizar el diseño de la manera más precisa posible, Shock y Welch (2013) hacen énfasis en que un sistema de riego debe estar planificado y diseñado con cuidado, tomando en cuenta el efecto de la topografía (inclinación y curvas de nivel) sobre los requisitos de presión y flujo con el fin de asegurar uniformidad en la aplicación de agua

“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. Una vez diseñado e instalado el sistema de riego es posible programar el riego para satisfacer las necesidades específicas de los cultivos en cada zona.” (Shock & Welch, 2013)

4.7 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 los datos básicos para el posterior diseño hidráulico, como caudal por planta, tiempo de riego, etc.” (Liotta, 2015)

Para determinar estos datos se parte de información disponible de suelo y clima que permiten saber qué cantidad de agua se debe aplicar al suelo para reponer lo perdido por evapotranspiración y así suplir las necesidades de la planta; siendo la base de cualquier diseño de riego, se puede afirmar que el mismo es de mucha importancia porque de aquí se obtiene el dato de cuánta agua se aplicará al suelo, esto quiere decir que un error puede hacer que no se aplique lo suficiente y la planta tenga estrés o que se aplique más de la cuenta y se desperdicie agua por percolación.

Entre los datos más importantes necesarios para llevar a cabo el diseño agronómico se encuentran:

4.7.1 Evaporación

“La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja. El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende grandemente de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos que considerar al evaluar el proceso de la evaporación.” (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

4.7.2 Transpiración

“La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y en el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.” (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

4.7.3 Evapotranspiración

“La evapotranspiración (ET) y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.” (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

En la Figura 6 se presenta la evapotranspiración dividida en sus dos componentes (evaporación y transpiración) en relación con el área foliar por unidad de superficie de suelo debajo de él. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración.

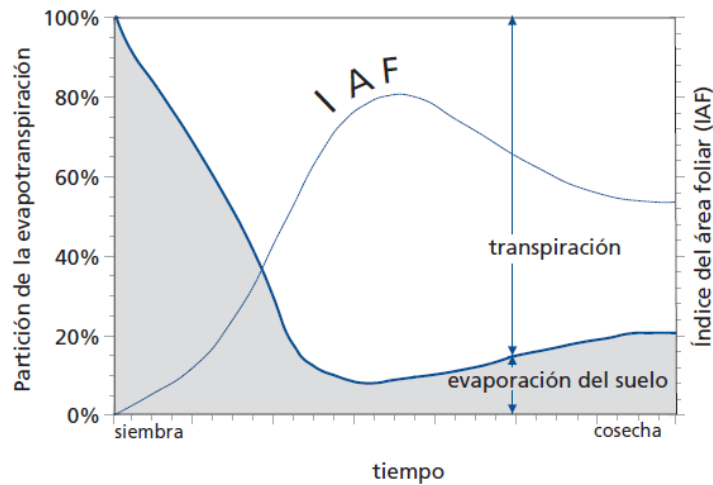


Figura 6. Evaporación del suelo en relación al desarrollo de área foliar

Fuente: (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

Allen (et. al; 2006) además explica que la evapotranspiración se ve afectada directamente por varios factores entre esos, el clima, de cultivo y la humedad relativa; según estos y otros varíen, cambiará también la evapotranspiración dado que por ejemplo si hace mucho calor y hay poca densidad de cultivo habrá mayor evapotranspiración; describe con detalle dichos factores de la siguiente manera:

4.7.4 Variables Climáticas

Los principales parámetros climáticos que afecta la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación a partir de estos parámetros. La fuerza evaporativa de la atmósfera puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) que representa la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar con un cultivo hipotético de pasto con características específicas.

4.7.5 Factores de cultivo

El tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas. Las diferencias en resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares del cultivo dan lugar a diferentes niveles de ET en diversos tipos de cultivos, aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas; para ajustar la evapotranspiración potencial a las condiciones no estándar, se debe obtener un coeficiente de cultivo que ajuste la E_{To} a las condiciones del cultivo en cuestión, dicho coeficiente varía según las etapas de desarrollo de cada cultivo como se aprecia en la Figura 7.

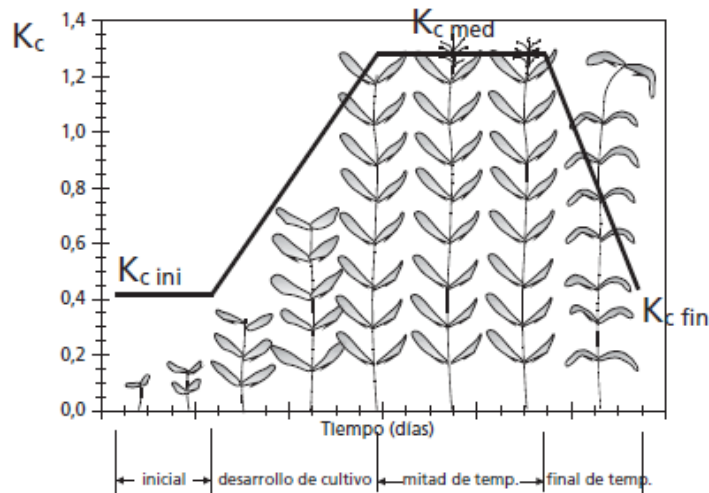


Figura 7. Variación del índice de cultivo K_c según las etapas fenológicas de un cultivo

Fuente: (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

4.7.6 Método de Penman – Monteith

“Durante los últimos 50 años se han desarrollado una gran cantidad de métodos más o menos empíricos por numerosos científicos y especialistas en todo el mundo, con el fin de estimar la evapotranspiración a partir de diferentes variables climáticas. A menudo las ecuaciones estaban sujetas a rigurosas calibraciones locales, pero demostraron tener limitada validez global. Para solucionar este problema la FAO decide desarrollar algunas guías con procedimientos para obtener evapotranspiración, la fórmula mejor aceptada según la precisión de sus resultados tras ser usada en varias partes del mundo tanto en climas áridos como húmedos es la ecuación de Penman-Monteith, dado que posee el mejor comportamiento y consistencia de resultados, este método es el recomendado por la FAO a nivel global como estándar de cálculo de ETo.

En 1948, Penman combinó el balance energético con el método de la transferencia de masa y derivó una ecuación para calcular la evaporación de una superficie abierta de agua a partir de datos climáticos estándar de horas sol, temperatura, humedad atmosférica y velocidad de viento. Este método conocido como combinado fue desarrollado posteriormente por muchos investigadores y ampliado a las superficies cultivadas por medio de la introducción de factores de resistencia; aunque el proceso de intercambio en la vegetación es demasiado complejo para ser descrito completamente por los factores de resistencia mencionados, con esta estimación se obtienen buenas correlaciones entre los valores medidos y calculados de evapotranspiración.” (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

4.7.7 Coeficiente de cultivo (Kc)

“Se define Kc como la diferencia de evaporación y transpiración entre el cultivo de campo (ETc) y el cultivo de referencia (ETo); algunos factores que afectan el valor de Kc son: tipo de cultivo (características de estomas, hojas, altura, propiedades aerodinámicas, espaciamiento de plantación); clima velocidad de viento y humedad relativa); evaporación del suelo (nivel de cobertura); etapas de crecimiento del cultivo durante el desarrollo (inicial, de desarrollo, mediados de temporada y final de temporada). El valor de Kc será mayor en condiciones de

aridez, en los casos en que el cultivo agrícola posea una mayor área foliar y una mayor rugosidad que el cultivo de referencia.” (Fontanella & Aumassanne, s.f.)

4.8 Diseño hidráulico

“La importancia del diseño y análisis hidráulico se relaciona con predecir el comportamiento del equipo frente a diferentes condiciones de operación que pueden resultar a consecuencia de: mejorar uniformidad de distribución de agua en la parcela regada, operar a menor presión a fin de ahorrar energía, ajustar el caudal a los requerimientos del suelo y los cultivos, cambiar emisores, agregar reguladores de presión a fin de compensar cambios de presión y estabilizar el caudal, evaluar las pérdidas de energía a fin de maximizar la economía en una uniformidad de riego elegida; en el diseño hidráulico de un equipo de riego, los cálculos se realizan posteriormente al diseño agronómico.” (Dean, Maglione, & Pianucci, 2010)

Shock y Welch (2013) mencionan que hay una gran variedad de componentes y opciones para el diseño del sistema. El sistema de distribución, las válvulas y las bombas deben ser adecuados para los emisores elegidos; se deben tomar en cuenta las necesidades del cultivo y las propiedades del suelo antes de escoger el emisor, la distancia entre laterales y emisores, la tasa de flujo y el programa de riego.

“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 uniformidad en la aplicación de agua tenga en cuenta lo siguientes factores: el tipo de cinta, longitud de las cintas, la topografía y la necesidad de limpiar las cintas de vez en cuando. De ser necesario, el sistema debe incluir válvulas de escape.” (Shock & Welch, 2013)

4.9 Cabezal de Riego

En el sitio web de Novedades Agrícolas (2016) se define Cabezal de riego como el recinto donde se instalan los sistemas que permiten hacer llegar el agua a los emisores de riego en las condiciones que se requieran para ello. Además, menciona los componentes de un cabezal de riego y los factores a tomar en cuenta para su instalación.

4.9.1 Componentes de un cabezal de riego

- **Equipo de bombeo:** consta de una o varias bombas que aportan el caudal de agua a la presión requerida por el sistema de riego.
- **Equipo de filtrado:** puede constar de uno o varios equipos de filtrado de diferentes tipos de filtrado (arena, malla, anilla, hidrociclones) y condicionan el agua para que no se produzcan obturaciones en los emisores debido a los elementos sólidos que puede llevar el agua en suspensión.
- **Equipo de inyección de fertilizante:** este sistema se encarga del aporte de fertilizantes al agua de riego.
- **Equipo de control:** Compuesto por programadores de riego que controlan desde la apertura de electroválvulas y la conexión de la bomba hasta el control de la inyección de fertilizantes, pH y conductividad eléctrica del agua de riego, etc.

4.9.2 Factores para su instalación

- **De la superficie de riego:** dependiendo de la superficie, las necesidades de caudal cambian, de manera que la selección del equipo de bombeo depende del tamaño de la explotación y de la orografía del terreno.
- **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 de bombeo.
- **Del tipo de riego y fertilización:** dependiendo del tipo de riego de que se realice y de si se efectúan operaciones de fertirrigación, se diseñara el sistema de abonado.

- **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 automatizará el cabezal de riego.

-

4.10 Equipo de bombeo

“Actualmente suele ser habitual que el agua se encuentre a una altura insuficiente, a nivel o subterránea, por lo que es necesario elevarla (suministrarle presión) usando un sistema de bombeo. Las bombas son los elementos de la instalación que suministran el caudal de agua necesario a la presión adecuada. Normalmente se utilizan bombas hidráulicas accionadas por motores eléctricos o motores de combustión interna.

En la mayoría de los casos las bombas hidráulicas actúan en dos fases: aspiración e impulsión.

En la fase de aspiración (Figura 8), el agua es elevada desde su nivel hasta el eje de la bomba, siendo conducida por la tubería de aspiración en la que la bomba realiza el vacío con el fin de que el agua suba por ella. Se recomienda que la altura existente entre el nivel de agua aspirada y el centro o eje de la bomba, denominada altura geométrica de aspiración no sea superior a 7 metros.

En la fase de impulsión (Figura 8) el agua es conducida desde la bomba hasta su destino final, mediante la tubería de impulsión. La bomba debe elevar el agua hasta el punto más alto de la instalación y además darle la presión necesaria para que salga por los emisores. A la altura existente entre el centro o eje de la bomba y el punto más alto de la tubería de impulsión se denomina altura geométrica de impulsión. Sumando a esta altura de presión necesaria en el lugar más lejano al sistema de bombeo (presión de trabajo del emisor), la resultante se denomina altura manométrica de impulsión.” (Fernández, 2010)

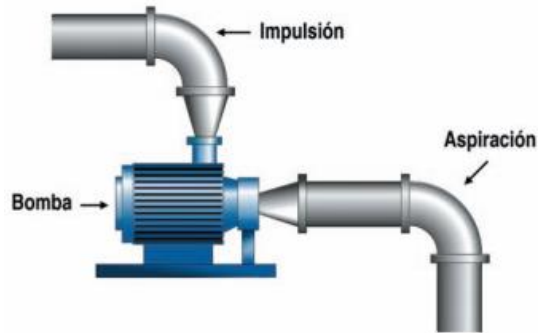


Figura 8. Partes del sistema de bombeo

Fuente: (Fernández, 2010)

4.11 Pérdidas de carga

“A medida que el agua dotada de presión circula por las tuberías y atraviesa los distintos elementos del sistema va perdiendo parte de dicha presión debido al rozamiento. A esta pérdida de presión se le denomina *pérdida de carga* y se expresa en las mismas unidades que la presión, normalmente en metros columna de agua (mca).” (Fernández, 2010)

Las pérdidas de carga en el sistema dependen principalmente de los siguientes condicionantes:

- **Diámetro interior de la tubería:** teniendo en cuenta que a menor diámetro la pérdida de carga es mayor para el mismo caudal circulante.
- **Longitud de la tubería:** sabiendo que a mayor longitud de la tubería también es mayor la pérdida de carga para el mismo diámetro y caudal circulante.
- **Caudal:** siendo mayor la pérdida de carga a mayor caudal para el mismo diámetro.
- **Tipo de material** de la tubería y rugosidad de sus paredes interiores (aluminio, polietileno, fibrocemento, hierro, cloruro de polivinilo, etc.)

4.12 Utilización de energía solar

Para lograr implementar sistemas de riego además de sistemas productivos que ayuden a fortalecer la producción en zonas agrícolas es de suma importancia el acceso a energía, aunque es muy común que muchos lugares están tan alejados que no poseen acceso al alumbrado público, es aquí donde entran en juego las nuevas tecnologías disponibles para obtener acceso a energía.

“Para que la producción de alimentos pueda crecer al ritmo de esa evolución y alimentar al mundo será necesario incrementar la producción agrícola, lo cual conllevará un aumento de la demanda de energía. Ya ahora, el 30% del consumo mundial de energía está ligado a la cadena de suministro agroalimentario” (IRENA, 2017).

Ese consumo puede reducirse considerablemente si se empezaran a utilizar energías alternativas para alimentar sistemas de riego y demás demandas energéticas de una cadena productiva haciendo más “verde” el proceso; entre las posibilidades para lograr esto se encuentra la utilización de energía solar fotovoltaica, energía eólica o energía hidroeléctrica de pequeña escala; usualmente por factores de instalación y costos la más común es la energía solar fotovoltaica dado que depende únicamente del sol; no de condiciones constantes de alta velocidad de viento ni de un alto caudal en un río.

Larraín (2012) define el bombeo solar de agua como “un sistema que consiste en la utilización de energía solar, a través de paneles fotovoltaicos, para el abastecimiento energético de bombas de riego. Los paneles capturan la radiación solar, convirtiéndola en energía eléctrica, la cual es utilizada para el funcionamiento de la bomba. Estos sistemas son de simple instalación y requieren un mantenimiento sencillo de la Bomba y la limpieza de los paneles solares y del sistema de seguimiento solar. Es recomendable hacer un estudio de radiación solar durante los meses de riego antes de decidirse por este sistema.

Huerga y Venturelli (s.f.) mencionan que actualmente en las zonas rurales de los países en desarrollo, las necesidades de energía se satisfacen sobre todo con combustibles de biomasa y con trabajo humano y animal. Este inocuo panorama limita seriamente la posibilidad de muchos pobladores de las zonas rurales de mejorar su productividad agrícola y su calidad de vida; este argumento precisamente es el que define las bases de la importancia del uso de energías limpias

en la agricultura, no solo por el avance en calidad de vida y trabajo que se obtiene sino por la posibilidad de llevar sus procesos productivos y productos a mejor nivel que permita abrir nuevas posibilidades de comercialización.

4.13 Clasificación de válvulas

“Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.” (Pachano & Pérez, s.f.)

Pachano y Pérez hacen además un repaso de las válvulas más comunes y sus respectivas descripciones:

- **Válvula de retención:** Estas válvulas son de no retorno, impidiendo el retroceso del fluido a través de ellas, mediante un mecanismo accionado por el mismo fluido, abriéndose en el sentido normal del flujo y cerrándose al sentido inverso de este. Se suelen emplear para controlar el sentido del flujo en las tuberías.
- **Válvula de globo:** es una válvula de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que sierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería. Estas válvulas permiten regular el paso del fluido, el cual al pasar por la válvula cambia de dirección debido a su diseño por lo que ofrece una gran resistencia a su circulación.
- **Válvula reguladora de presión:** Son válvulas de asiento que estrangulan el paso del fluido, para conseguir a su salida una presión constante.
- **Válvula de seguridad:** Estas válvulas se colocan en las líneas o equipos para evitar un aumento excesivo de la presión o temperatura del fluido en ellos contenido.

4.14 Equipo de filtrado

Muchas veces en el campo, el agua disponible no viene de fuentes que aseguren su limpieza como lo son derivaciones de canales, captaciones de ríos o pozos profundos; el mayor problema que esto implica es la posibilidad de que el agua traiga dentro de sí partículas de distintas naturalezas que puedan causar la obstrucción de los emisores que por la naturaleza del riego localizado poseen áreas de emisión muy pequeñas y susceptibles a la obstrucción, en agua proveniente de pozos o canales es natural la presencia de partículas de suelo y en las aguas provenientes de captaciones en ríos es común la presencia de materia orgánica que llega al mismo cayendo desde los márgenes del río a lo largo de la cuenca, pueden ser restos de hojas u troncos y la misma posibilidad de arrastrar partículas de suelo.

“El sistema de filtrado es el componente principal del cabezal, compuesto por distintos tipos de filtros con los que se pretende eliminar las partículas y elementos que lleva el agua en suspensión y pueden ocasionar obturaciones en cualquier parte de la red de riego, principalmente en los emisores.” (Gomez, 2010)

Gómez (2010) menciona además que la obturación de los emisores es uno de los problemas mas importantes de los sistemas de riego localizado. Suele producirse por partículas minerales (arena, limo y arcilla), partículas orgánicas (algas, bacterias, restos de plantas o animales) y sales precipitadas que provienen de los fertilizantes añadidos, o los que están presentes en el agua de riego.

Según Liotta (2015) para evitar la entrada de estos elementos al sistema de deben tomar precauciones desde el ingreso del agua al reservorio:

- **Rejillas o decantadores:** las rejillas se usan en la entrada de agua al reservorio para retener grandes elementos tales como ramas y hojas. Los decantadores se utilizan para separar principalmente arenas. Consisten en depósitos donde el agua pierde velocidad y las partículas se precipitan en el fondo.
- **Pre-filtrado en la succión:** La zona de succión debe protegerse en la válvula de retención antes de ingresar al cabezal, lo cual puede lograrse con un canasto construido con una malla fina que impide el ingreso de partículas minerales, algas, piedras o elementos sólidos que puedan ser succionados y deteriorar la turbina de la bomba.

4.15 Clasificación de filtros

- **Hidrociclón:** “Es un dispositivo de elementos móviles, que permite la separación de las partículas sólidas en suspensión cuyo tamaño sea superior a 75 micras y cuya densidad sea superior a la del agua. Consiste en un recipiente de forma de cono invertido en donde el agua entra tangencialmente por la parte superior, lo que provoca un movimiento rotacional descendente en la periferia del recipiente. Las partículas sólidas en suspensión se proyectan contra las paredes y descienden hacia un depósito de sedimentos colocado en la parte inferior. El agua libre de sedimentos es impulsada en movimiento rotacional ascendente y sale por un tubo situado en la parte superior, el hidrociclón produce pérdidas importantes de carga (de 3 a 8 mca), que dependen del caudal. Debido a su forma de funcionamiento, estas pérdidas son independientes de la mayor o menor acumulación de sedimentos.” (Fuentes, s.f.) el funcionamiento del hidrociclón se detalla en la Figura 9.

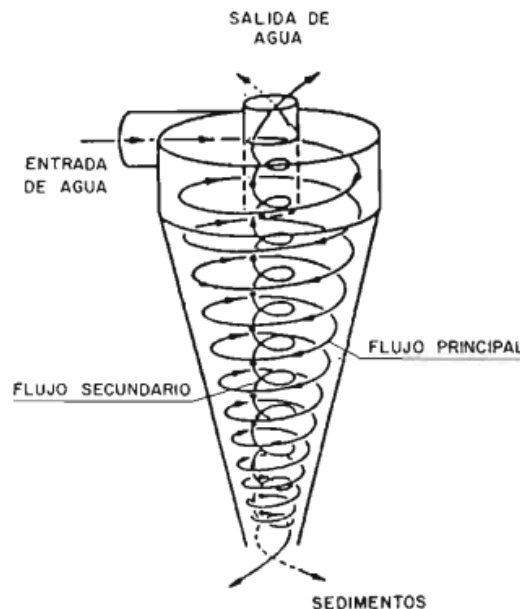


Figura 9. Funcionamiento de un filtro hidrociclónico

Fuente: (Fuentes, s.f.)

- **Filtro de arena:** “El filtro de arena se utiliza para retener restos orgánicos, algas y pequeñas partículas minerales. Consiste en un depósito metálico o de poliéster, de forma cilíndrica, en cuyo interior pasa el agua a través de una capa de arena silíceo. No sirve la arena de machaqueo. El agua entra por la parte superior del depósito y se recoge en la parte inferior a través de unos colectores que desembocan en la tubería de salida. El depósito lleva una boca de carga de arena en la parte superior y otra de descarga en la parte inferior como se aprecia en la figura 10.

La eficacia de filtrado depende del tamaño de la arena, que a su vez determina el tamaño de los poros entre las partículas. Se utilizan tres tamaños o granulometrías de arena: arena fina, con tamaño comprendido entre 0.4 y 0.8 mm; arena media, cuyo tamaño está comprendido entre 0.8 y 1.5 mm; arena gruesa, con tamaño comprendido entre 1.5 y 3 mm.

Como norma general se debe utilizar arena uniforme con un tamaño igual al diámetro de paso de agua en el gotero. El espesor de la capa de arena será, como mínimo de 45cm. Para calcular el diámetro de un filtro hay que tener en cuenta que el flujo de agua debe ser, como máximo, de 800 litros por minuto y por m² de superficie filtrante.” (Fuentes, s.f.)

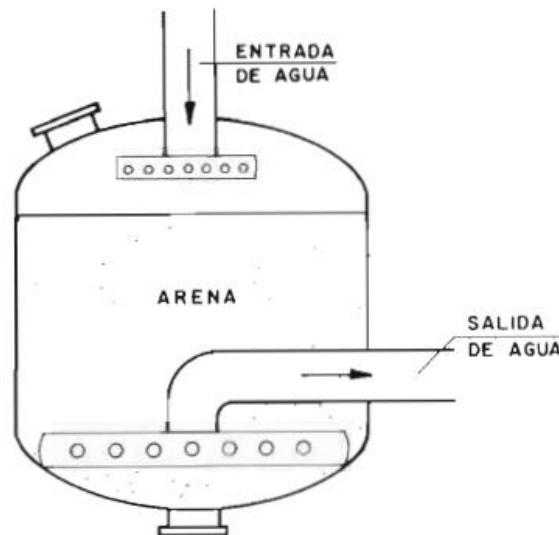


Figura 10. Funcionamiento de un filtro de arena

Fuente: (Fuentes, s.f.)

Filtro de mallas y anillas

“El filtro de malla es una carcasa (Figura 11) que aloja en su interior un cartucho con una malla de diferentes diámetros u orificios. La malla puede ser metálica o plástica. El tamaño del orificio se define por el número de aberturas por pulgada lineal (25.4 mm) lo cual se “mesh”. Para riego por goteo se recomienda una mala de 140-150 mesh (110-106 micrones lo cual es una unidad de longitud equivalente a la milésima parte de un milímetro).”

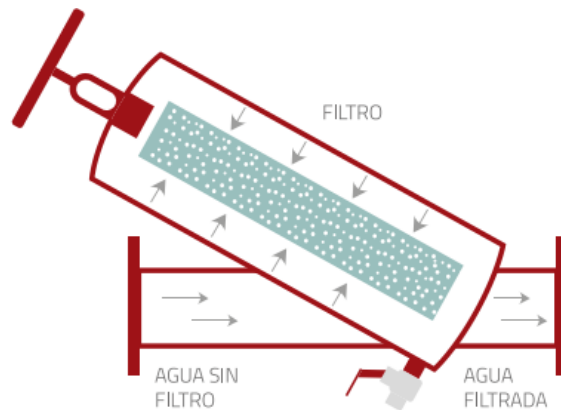


Figura 11. Funcionamiento de un filtro de malla

Fuente: (Liotta, 2015)

Los filtros de anillas son similares a los de malla, pero el conjunto filtrante está constituido por una serie de discos o anillas con ranuras en ambas caras, que superpuestos forman los conductos de paso de agua (Figura 12). Su efecto en gran medida es de limpieza en profundidad como las de grava. Pueden retener gran cantidad de sedimentos antes de obstruirse.

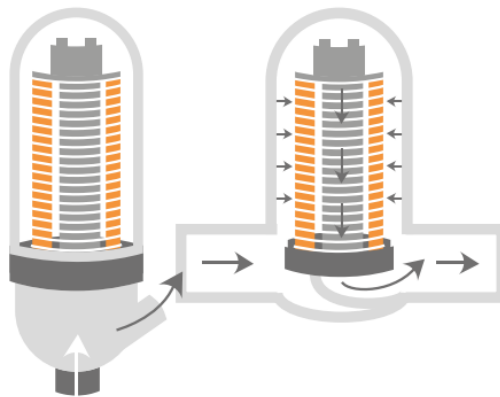


Figura 12. Funcionamiento de un filtro de anillas

Fuente: (Liotta, 2015)

Ambos tipos de filtros tienen una pérdida de carga de 1 a 3 mca cuando están limpios y debe procederse a su limpieza con valores de 5 mca. La limpieza puede hacerse manual o por retro-lavado.” (Liotta, 2015)

Para seleccionar que tipo de filtro usar, el mismo Liotta (2015) propone un cuadro de selección (Cuadro 2) dependiendo de la naturaleza, cantidad de sedimentos y sustancias orgánicas que contenga el agua en una instalación.

TIPO DE ELEMENTO	HIDROCICLÓN	GRAVA	MALLA Y ANILLA
ARENA	SI	NO	SI
LIMOS Y ARCILLAS	NO	SI	SI
SUBSTANCIAS ORGÁNICAS	NO	SI	SI

Cuadro 2. Selección de sistema de filtrado según tipo de partículas en el agua

Fuente: (Liotta, 2015)

4.16 Mantenimiento del sistema

Para un apto funcionamiento del sistema es necesario tomar medidas preventivas que eviten en situaciones futuras que la producción se detenga debido a fallas del sistema, esto se logra con prácticas operativas y de mantenimiento que permitan al sistema estar en óptimas condiciones en cualquier momento haciendo así que la finca produzca de manera eficiente.

El buen mantenimiento empieza desde una correcta instalación, NaanDanJain (2013) recomienda ciertos pasos importantes para la correcta instalación de algunos elementos del sistema:

- **Instalación de la tubería principal:** La tubería principal de PVC (>110mm) debe estar al menos a 1 metro de profundidad (medida en la parte superior de la tubería cuando está

en el suelo) de forma tal que la zanja tenga una profundidad de 1.5mt; el relleno no debe contener piedras, si el suelo es arenoso, cubra la zanja después del tendido cada 20 metros. Se recomienda tapar la tubería cada pocos metros antes de la cobertura final.

- **Instalación de las tuberías secundarias:** desplegar las tuberías secundarias en el lugar profijado. Preparar las zanjas, su ubicación y profundidad deben cumplir con el plan y las especificaciones. La profundidad recomendada para tuberías de PE es de 50 cm. La profundidad recomendada para las tuberías de PVC (solo secundarias) es de 70 cm; se deben distribuir las secciones de tubería a lo largo de las zanjas, se debe asegurar de que el relleno no tenga piedras. Se debe evitar dejar las zanjas abiertas por la noche. Si usted no tiene más alternativas que dejar las zanjas abiertas, cubra la tubería cada pocos metros en cada salida cuando la tubería esté dentro de la zanja. Si existen posibilidades de lluvia por la noche, evite a toda costa dejar las zanjas abiertas.
- **Lavado del cabezal, tubería principal y tuberías secundarias:** es necesario lavar a fondo el cabezal y las tuberías, hasta que el agua salga clara asegurándose que salgan todos los cortes plásticos y de goma, piedras, restos de suelo, etc. Se recomienda lavar justo antes de instalar los laterales; además es necesario conectar los laterales a las tuberías secundarias lo antes posible para evitar la intrusión de insectos y suciedad; posteriormente lavar a fondo los laterales hasta que el agua sea limpia y posteriormente instalar los tapones al final de cada lateral.

Con el sistema instalado correctamente, el mayor mantenimiento posterior yace en lavados del sistema de forma crónica, y limpieza de los bloques filtrantes; para el lavado del sistema Netafim (2012) recomienda en su guía de mantenimiento de sistemas de riego, instalar válvulas de purga en ciertos puntos del sistema para permitir su lavado cada cierto tiempo, dicho lavado consiste en abrir estas válvulas mientras se haya bajo presión para aumentar la velocidad del flujo dentro de la tubería y lograr con esto eliminar cualquier acumulación de contaminantes adheridos a las paredes o asentados en alguna parte del sistema.

4.17 Golpe de Ariete

Lahlou (2009) lo define como un *choque hidráulico*, un incremento momentáneo de presión, el cual ocurre en un sistema de agua cuando hay un cambio repentino de dirección o velocidad del agua. Cuando una válvula cierra repentinamente, detiene el paso del agua que está fluyendo en las tuberías, y la energía de presión es transferida a la válvula y a la pared de la tubería. Las ondas expansivas se activan dentro del sistema. Las ondas de presión viajan hacia atrás hasta que encuentran el siguiente obstáculo sólido, luego continúan hacia adelante, luego regresan otra vez.

Calcular el golpe de ariete genera un dato que es de vital importancia para cualquier diseño de ingeniería que involucre conductos presurizados, este dato puede ayudar a definir que grosor de tubería o la válvula más conveniente para utilizar en función de la presión que deberá soportar en algunos momentos de su uso.

Dos valores de vital importancia para el cálculo del golpe de ariete son la celeridad y el tiempo de cierre; la UCLM (2018) los define de la siguiente manera:

Celeridad: Es la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua contenida en la tubería, su valor se determina a partir de la ecuación de continuidad y depende fundamentalmente de las características geométricas y mecánicas de la conducción, así como de la compresibilidad del agua.

Tiempo de cierre: El intervalo entre el inicio y el término de la maniobra, sea cierre o apertura, total o parcial, ya que durante este tiempo se produce la modificación del régimen de movimiento del fluido. Este concepto es aplicable tanto a conducciones por gravedad como a impulsiones, conociéndose en el primer caso como tiempo de cierre de la válvula y como tiempo de parada en el segundo.

4.18 Software utilizado en el proceso de diseño

4.18.1 CLIMWAT

Es una base de datos para ser usada en combinación con el programa CROPWAT y permite el cálculo de requerimientos hídricos para cultivos, suministro de agua y calendarización de riego para varios cultivos según la información de gran cantidad de estaciones climatológicas en todo el mundo.

CLIMWAT 2.0 para CROPWAT es una publicación en conjunto de la Unidad de Desarrollo y Manejo del Recurso Hídrico y la Unidad para el cambio Climático y Bioenergía de la FAO; provee valores medios mensuales de amplios períodos de tiempo disponibles con siete parámetros disponibles:

- Temperatura máxima media [°C]
 - Temperatura mínima media [°C]
 - Humedad relativa media [%]
 - Velocidad de viento media [km/día]
 - Horas de sol promedio diarias [hr]
 - Radiación solar promedio [MJ/m²/día]
 - Precipitación promedio mensual [mm/mes]
 - Precipitación efectiva mensual [mm/mes]
 - Evapotranspiración de referencia calculada con el método de Penman-Monteith [mm/día]
- (FAO, 2018)

4.18.2 CROPWAT

Es una herramienta de soporte de decisiones desarrollada por la división de Desarrollo de la Tierra y el Recurso Hídrico de la FAO.

CROPWAT 8.0 para Windows es un programa computacional para el cálculo de requerimientos hídricos y de irrigación basado en el suelo, clima e información de cultivo. En adición, el programa permite el desarrollo de calendarios de riego para distintas condiciones de manejo y el cálculo de un esquema para el suministro de agua en patrones de siembra cambiantes. CROPWAT 8.0 también puede ser usado para evaluar las prácticas de riego de los productores y estimar el rendimiento de cultivo tanto bajo condiciones de riego como en condiciones de únicamente lluvia.

4.18.3 Surfer 13

Surfer es una herramienta que permite la elaboración y visualización de mapas a partir de los levantamientos topográficos con listas puntos en 3 coordenadas, esto permite realizar visualizaciones en dos y tres dimensiones de dicha lista de puntos en mapas de curvas de nivel, escorrentía, luz y sombras, etc.

4.18.4 Google Earth

Es un programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía con base en la fotografía satelital a nivel mundial.

4.18.5 TCX Converter

Software gratuito que permite transformar información obtenida de distintos dispositivos de GPS para lograr exportarlos en distintos formatos con algunos cambios en sus atributos.

4.18.6 AutoCAD Civil 3D 2016

El AutoCAD Civil 3D es una herramienta de diseño y cálculo muy útil en el desarrollo de diseño de sitio, diseño urbanístico, carreteras, movimiento de tierras, cálculo topográfico, replanteo de información, etc.

La principal característica del programa es que está diseñado por Autodesk para que todos los componentes de diseño estén relacionados, los objetos al ser modificados automáticamente regeneran el diseño y recalculan la información en tablas y perfiles, todo esto ayuda a la hora de hacer cambios en nuestra propuesta sin tener que rehacer todo el proyecto.

4.18.7 AutoCAD 2016

Es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. Posee amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más utilizados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros.

4.18.8 EPANET 2.0

EPANET es un software para modelamiento de sistemas de distribución de agua a través de conductos presurizados. EPANET es un software de dominio público que puede ser libremente copiado y distribuido. Es un programa para Windows 95/98/NT/XP sin embargo compatible con los sistemas más modernos.

EPANET realiza períodos extendidos de simulación de movimiento de agua y calidad del comportamiento dentro de redes presurizadas. Las redes de tuberías consisten en tubos, nodos, bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o reservorio. EPANET sigue el flujo del agua en cada tubo, la presión en cada nodo y la altura del agua en cada tanque.

5 METODOLOGÍA

El proyecto se llevó a cabo a través de la empresa Durman Esquivel; la cual se dedica a la fabricación de distintos productos de PVC (Cloruro de Polivinilo); tiene dentro de sí varios departamentos que utilizan los productos de la empresa en distintas actividades económicas como el riego en el sistema agrícola y sistemas de conducción de agua prediales; en este caso fue el departamento de riego quien abrió la puerta para desarrollar este proyecto.

El área de estudio es una finca de 18 hectáreas ubicada en Naranjito de Quepos, Puntarenas en las coordenadas Lat.: 9.467380° , Long: -84.119783° como se aprecia en la Figura 13; la finca se dedica en su totalidad al cultivo de Rambután, tiene fácil acceso por carretera; aunque hay acceso al tendido eléctrico, el dueño de la finca ha sido enfático en que no desea que el sistema de riego funcione con el mismo, hace énfasis en que desea que en la medida de lo posible, se utilice energía solar o bombas accionadas por combustible.

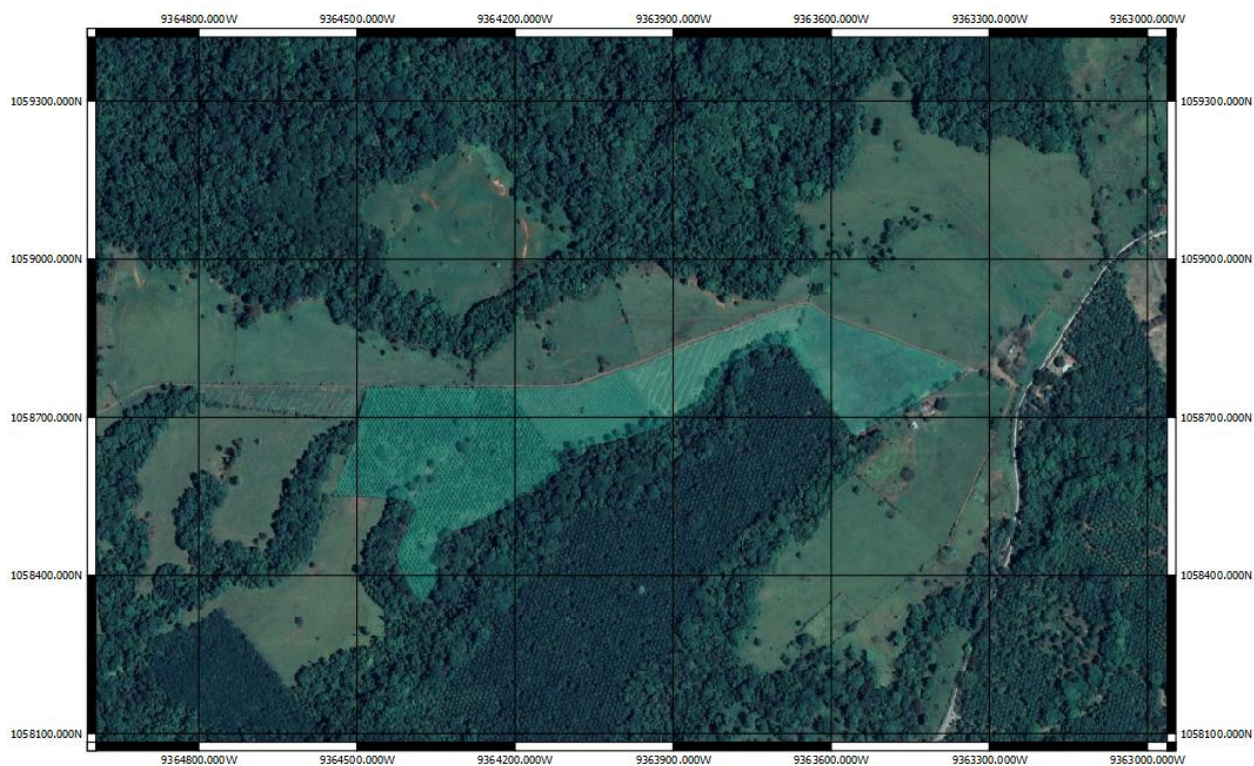


Figura 13. Imagen satelital de la finca, coordenadas WGS 84

Elaborado con Google Earth

5.1 Materiales

Para llevar a cabo este proyecto se utilizaron los siguientes materiales:

- a) GPS Garmin 64sc con precisión de +/- 3 metros
- b) Software para manejo de sistemas de información geográfica (SIG) Quantum GIS
- c) Software para conversión de coordenadas de GPS TCX Converter
- d) Software para análisis topográfico Surfer 13
- e) Software de dibujo asistido por computadora AutoCAD 2016
- f) Software de dibujo asistido por computadora (CAD) CivilCAD 3D 2016
- g) Software de modelación hidráulica EPANET 2.0

El desarrollo del diseño se divide en 5 secciones:

- a) Análisis del terreno: delimitación y estudio topográfico
- b) Diseño del sistema de riego por microaspersión
- c) Diseño del sistema de riego por goteo
- d) Comparación de ambos sistemas
- e) Análisis económico y ambiental del proyecto

5.2 Análisis del terreno

Para cualquier diseño de riego es de suma importancia conocer el comportamiento topográfico del área de estudio dado que las diferencias de altura deben de ser tomadas en cuenta en varios pasos del diseño.

La empresa Durman no suele destinar recursos para realizar levantamientos topográficos que vayan más allá de un recorrido de la zona y los puntos más importantes del terreno con un GPS por lo que en este caso para analizar este terreno se utilizó un levantamiento hecho previamente con GPS (modelo mencionado en el inciso 5.1) por el Ingeniero Ignacio Mena quien facilitó la información de dicho levantamiento.

Se deben extraer los datos del GPS para realizar una conversión que permita tener estos datos tabulados en una hoja de cálculo, dicha conversión se logra importando el archivo con el levantamiento en formato “.gpx” al programa TCX Converter y exportarlo como el archivo

estándar de hoja de cálculo “.csv” del cual se extraen las columnas de Latitud, Longitud y alturas que son los datos de entrada necesarios para generar un mapa de curvas de contorno en Surfer 13.

5.3 Diseño de riego por microaspersión

Para empezar el diseño de riego por microaspersión es necesario antes que cualquier cosa conocer la necesidad hídrica que viene a cubrir el riego, para esto habitualmente se obtienen las láminas que permiten saber la cantidad justa de agua que se debe aplicar al suelo, esto conlleva un estudio en laboratorio del suelo del lugar sin embargo por las condiciones de la empresa no es posible realizar estas pruebas dado que usualmente no se destinan recursos a estas pruebas.

Por lo tanto, para determinar el requerimiento hídrico se utilizó la metodología propuesta por Diczbali & Wicks (2002) donde se logra obtener un consumo neto por árbol; para esto ellos aseguran que “el monitoreo de los requerimientos hídricos de un número de granjas de alta producción de Rambután ha permitido el desarrollo de recomendaciones para irrigación basado en ‘Factores de cultivo’. Los factores de cultivo (CF) expresan el uso de agua del árbol para una óptima producción, con relación a la evapotranspiración del lugar.”

Por lo tanto, el procedimiento es el siguiente:

- a) Elegir el factor de cultivo necesario según la etapa del cultivo, estos factores están en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Factores de Cultivo (CF) según la etapa de crecimiento del Rambután

Período de crecimiento	Factor de Cultivo (CF)
Del inicio del riego al inicio de la floración	0.5* – 0.76
Floración	0.99
Relleno de los frutos	1.21
De la cosecha al final del riego	1

*Un factor de cultivo más bajo puede ser usado para promover una floración uniforme y precoz

Fuente: (Diczbali & Wicks, 2002)

- b) Determinar la Evapotranspiración del lugar, para esto se utilizó el Mapa de Evapotranspiración de Referencia Media de Costa Rica en mm; publicado por PHI (2007).
- c) Medición del radio del dosel arbóreo de al menos 10 árboles y calcular el radio promedio:

$$r_{prom} = \frac{\Sigma \text{ radios}}{N \text{ árboles}} \quad (1)$$

Donde:

Σ radios = Sumatoria de los radios medidos

N árboles = Cantidad de árboles a los cuales se les midió el radio

r_{prom} = Radio promedio (m)

- d) Calcular los consumos de agua que deberán ser suplidos por el riego

$$\text{Consumo [l/árbol/día]} = \text{Evapotranspiración [mm/día]} * CF * \text{Área dosel [m}^2] \quad (2)$$

- e) Calcular consumo para cada etapa de crecimiento del cultivo y elegir la más crítica para hacer el diseño del riego.

5.3.1 Diseño agronómico

Porcentaje mínimo de suelo humedecido:

$$PAR = \left(\frac{\text{Área efectiva [m}^2]}{\text{Área árbol [m}^2]} \right) * 100 \quad (3)$$

$$PAR = \left(\frac{\frac{\pi * D^2}{4}}{Sp * Sh} \right) * 100 \quad (4)$$

Despejando el diámetro se tiene el diámetro mínimo del micro:

$$D = \sqrt{Sp * Sh * PAR * 4/\pi} \quad (5)$$

Donde:

D = Diámetro mínimo del aspersor [m]

Sp = espaciamiento entre árboles [m]

Sh = espaciamiento entre hileras [m]

PAR = Porcentaje mínimo de suelo humedecido [%]

Elección del Microaspersor:

- Elegir los Micros disponibles, en este caso los que se encuentran en el catálogo de la empresa Durman, obtener de ellos su presión de operación, caudal y diámetro.
- Obtener el PAR de cada micro utilizando la fórmula (3) utilizando el diámetro del micro
- A partir del valor obtenido de consumo neto por árbol obtenido de (2) se despeja la Lámina neta con la siguiente fórmula:

$$Cnp = Ln \times Aar \quad (6)$$

$$Ln = Cnp / Aar$$

Donde:

Cnp = Consumo neto por árbol [Litros/árbol/día]

Ln = Lámina neta [mm]

Aar = Área árbol [m²]

- Teniendo la lámina neta y la evapotranspiración se obtiene la Frecuencia de riego con la siguiente fórmula:

$$Fr = Ln / Etr \quad (7)$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riego [días]

Etr = Evapotranspiración [mm/día]

- El resultado de la frecuencia se redondea al inmediato inferior, haciendo esto es necesario recalcular la lámina neta con la Ecuación (7) para continuar con los cálculos.
- Tomando en cuenta la eficiencia según el sistema de riego utilizado, se calcula la lámina bruta con la siguiente fórmula:

$$Lb = Ln / Ef \quad (8)$$

Donde:

Lb = Lámina bruta [mm]

Ef = Eficiencia de riego [%]; asumida, valores aceptados para microaspersión entre [80 – 90]%

- Teniendo las láminas, se empiezan a calcular los consumos:

Consumo bruto por árbol

$$Cbp = Lb * Aar \quad (9)$$

Donde:

Cbp = Consumo bruto por árbol [Litros/árbol/día]

Caudal mínimo del aspersor

$$Qmin = Cbp / Hdr \quad (10)$$

Donde:

Qmin= caudal mínimo del aspersor [Litro/hora]

Hdr = Horas disponibles de riego al día [hr]

Elegir el microaspersor que logre suministrar más del mínimo de caudal a la menor presión posible.

Tiempo de Riego

$$Tr = Cbp / Qmicro \quad (11)$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego [Hr]

Qmicro = Caudal del microaspersor elegido [Litro/hora]

Horas disponibles para todo el campo

$$Ht = Cr * Tr \quad (12)$$

Donde:

Ht = Horas disponibles para todo el campo [hr]

Cr = Ciclo de riego [días]

Caudal mínimo del sistema

$$Qms = (Lb * A * 10) / Ht \quad (13)$$

Donde:

Q_{ms} = Caudal Mínimo del sistema [m³/h]
 A = Área [hectáreas]

Turnos de riego al día

$$Trd = \text{Horas disp al día} / Tr \quad (14)$$

Divisiones máximas de área

$$D_{ma} = Cr * Trd \quad (15)$$

Superficie de riego en forma simultánea

$$S_{rs} = A / D_{ma} \quad (16)$$

Donde:

S_{rs} = Superficie de riego en forma simultánea [Hectáreas]

Caudal real del sistema

$$Q_{rs} = (S_{rs} / A_{arbol}) * Q_{micro} * 10 \quad (17)$$

Donde:

Q_{rs} = Caudal mínimo del sistema [m³/h]

S_{rs} = Superficie de riego en forma simultánea [Hectáreas]

A_{arbol} = Área árbol [m²]

Q_{micro} = Caudal del microaspersor [Litro/Hora]

5.3.2 Diseño Hidráulico

Para empezar con el diseño hidráulico se debe ubicar el punto más crítico o más alejado del sistema, dado que este determinará el máximo esfuerzo que debe sobrepasar para lograr emitir el riego de manera correcta y eficiente.

Teniendo en cuenta las divisiones del área ya realizadas, se debe hacer una idea de dónde colocar la múltiple y que dirección llevarán los laterales; partiendo de esto se debe seguir el siguiente proceso

Determinar la cantidad de aspersores que hay sobre el lateral:

$$\# \text{ asp} = \text{Longlat} / Sp \quad (18)$$

Donde:

Longlat = Longitud del lateral [m]

Sp = espaciamento entre árboles

Determinar la Longitud del Lateral (Con el primer aspersor a Sp/2)

$$Llat = (\# \text{ asp} - 1) + (Sp/2) \quad (19)$$

Donde:

Llat= Longitud del lateral [m]

Determinar el caudal del lateral

$$Qlat = \#asp * Qasp \quad (20)$$

Donde:

Qlat = Caudal del lateral [L/h]

Qasp = Caudal del aspersor [L/h]

Determinar el factor f del lateral, obteniéndolo del Cuadro 4 entrando a la columna para Ea/2 con el número de salidas requeridas, interpolando de ser necesario.

Cuadro 4. Valores de factor f según número de salidas y tipo de material

Plástico (1.760)			
Num salidas	Ea	Cabecera	Ea/2
0	1	1	1
5	0.469	0.337	0.410
10	0.415	0.350	0.384
12	0.406	0.352	0.381
15	0.398	0.355	0.377
20	0.389	0.357	0.373

25	0.384	0.358	0.371
30	0.381	0.359	0.370
40	0.376	0.360	0.368
50	0.374	0.361	0.367
100	0.369	0.362	0.366
200	0.366	0.363	0.365

Fuente: Material del curso de Riego a Presión

Calcular la pérdida admisible para lateral en pendiente del sistema

$$P_{adm} = (0.2) * P_o - \Delta Z \quad (21)$$

Donde:

P_{adm} = Pérdida admisible [mca]

P_o = Presión de operación del aspersor elegido [mca]

ΔZ = Diferencia de altura (-) si el lateral sube; (+) si el lateral baja

Dividir lo que se tiene disponible para perder entre el lateral y la múltiple destinando una mayor cantidad de pérdidas para el lateral dado que como el diámetro suele ser menor es normal tener mayores pérdidas en el lateral.

División de pérdidas:

$$\text{Lateral} \rightarrow 80\% \quad \rightarrow P_{adm \text{ Lat}} = (0.8) * ((0.2) * P_o - \Delta Z)$$

$$\text{Múltiple} \rightarrow 20\% \quad \rightarrow P_{adm \text{ Mult}} = (0.2) * ((0.2) * P_o - \Delta Z)$$

Calcular el diámetro teórico del lateral mediante la Fórmula, obtenida de despejar el diámetro de la Fórmula de Hazen-Williams:

$$\text{Diámetro teórico} = \left[\frac{(1.131 \times 10^9) * (Q_{lat})^{1.852} * (L_{lat}) * (f)}{(P_{adm \text{ Lat}}) * (Coef \text{ Material})^{1.852}} \right]^{0.20525} \quad (22)$$

Donde:

Q_{lat} = Caudal del lateral [m³/h]
 L_{lat} = Longitud del lateral [m]
 f = Factor f del lateral
 $Padm_{Lat}$ = Pérdidas admisibles en el lateral [mca]
 Coef Material: Coeficiente del material

Del resultado anterior se compara el diámetro teórico con los diámetros comerciales disponibles, después de elegir uno se deben recalculan las pérdidas con este nuevo diámetro a través de la Fórmula de Hazen-Williams.

$$Hf_{Lateral} = 1.131 \times 10^9 * \left(\frac{Q_{lat}}{Coef\ Mater} \right)^{1.852} * (Diam\ Lat)^{-4.872} * (L\ lat) * (f) \quad (23)$$

Donde:

Q_{lat} = Caudal del lateral [m³/h]
 L_{lat} = Longitud del lateral [m]
 f = Factor f del lateral
 $Diam\ Lat$ = Diámetro interno del lateral [mm]
 Coef Material: Coeficiente del material

Determinar el número de laterales:

$$\text{Número de laterales} = \text{Long Multiple} / Sh \quad (24)$$

Donde:

L_{Mult} = Longitud disponible para la múltiple [m]
 Sh = Espaciamiento entre hileras [m]

Definir Longitud de la Múltiple

$$\text{Long Multiple} = (\# \text{ Lats} - 1) * Sh \quad (25)$$

Donde:

Long Multiple = Longitud de la múltiple [m]
 Sh = espaciamiento entre hileras [m]
 $\# \text{ Lats}$ = Número de laterales

Calcular el caudal de la múltiple.

$$Q_{mul} = \# \text{ Lats} * Q_{lat} \quad (26)$$

Donde:

Q_{mul} = Caudal de la múltiple [L/h]

Lats = Número de laterales

Q_{lat} = Caudal del lateral [L/h]

Determinar el factor f para la múltiple de la misma manera que se calculó para el lateral, con el inciso n , con la diferencia que la cantidad de salidas es la cantidad de laterales y se entra en la columna de cabecera.

Calcular el diámetro teórico de la múltiple de la misma forma que se hizo para la lateral, en el inciso q ; se debe saber que caudal y que longitud ingresar en la fórmula; para definirlo se debe decidir si el caudal entra a la múltiple por la mitad de la misma o en uno de sus extremos, la diferencia es que al entrar a la mitad el caudal se divide por lo que se puede trabajar con diámetros menores abaratando costos; para efectos de este caso se entrará a la múltiple por la mitad quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$Diámetro\ teórico = \left[\frac{(1.131 \times 10^9) * (Q_{mul}/2)^{1.852} * (L\ mult/2) * (f)}{(P_{adm\ Mult}) * (Coef\ Material)^{1.852}} \right]^{0.20525} \quad (27)$$

Donde:

Q_{mul} = Caudal de la múltiple [m³/h]

$L\ Mult$ = Longitud del Múltiple [m]

f = Factor f del lateral

$P_{adm\ Mult}$ = Pérdidas admisibles en el mult [mca]

Coef Material: Coeficiente del material

Teniendo el diámetro teórico de la múltiple, se repite el inciso r para saber cuáles serán las pérdidas reales en la múltiple.

5.3.3 Diseño de la Tubería Principal

Para diseñar la principal se debe definir qué caudal transitará por la misma, como en esta tubería no se tienen pérdidas admisibles, se utiliza el método de carga unitaria para determinar el diámetro teórico, este método parte de un supuesto donde el diámetro adecuado es el que le dará a la tubería, 2.3 mca de pérdida cada 100 metros de conducción, por lo tanto, el diámetro teórico se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$Diam\ teo\ princ = \left(\frac{1.131 \times 10^9 * Q_{princ}^{1.852}}{0.023 * CoefMat^{1.852}} \right)^{0.20525} \quad (28)$$

Donde:

Diam teo princ = Diámetro teórico de la tubería principal [mm]

Qprinc = Caudal de la tubería principal [m³/h]

CoefMat = Coeficiente de Material

Con el diámetro teórico obtenido, se elige el diámetro teórico más adecuado para el diseño y se recalculan las pérdidas de la misma manera que en el inciso h utilizando la longitud real de la tubería, para saber este dato, se utilizó el AutoCAD donde con el dibujo trazado se midió la longitud de la tubería.

5.3.4 Análisis de presiones

Conocer las presiones en los distintos puntos de la tubería permite conocer puntos críticos que pueden requerir atenciones especiales en dado momento del diseño además de que es esencial para determinar la carga dinámica total que a su vez es necesario para elegir la bomba del sistema.

se inicia el análisis de presiones con la presión a la entrada del lateral:

$$Pe = Po + \frac{3}{4} Hf\ lat + hel \pm 0.38 * \Delta Z \quad (29)$$

Donde:

Pe: Presión a la entrada del lateral [mca]

Po: Presión de operación del microaspersor [mca]

Hflat: Pérdidas de carga reales en el lateral [mca]

hel: altura del elevador del microaspersor [m]

ΔZ : Diferencia de altura a lo largo del lateral (+ si sube, - si baja)

Con la presión a la entrada del lateral, se calcula la presión a la entrada de la múltiple:

$$P_m = P_e + \frac{3}{4} H_f \text{ mult} \pm 0.38 * \Delta Z \quad (30)$$

Donde:

Pm: Presión a la entrada del lateral [mca]

Pe: Presión a la entrada del lateral [mca]

Hfmult: Pérdidas reales en la múltiple [mca]

ΔZ : Diferencia de altura a lo largo de la múltiple (+ si sube, - si baja)

Teniendo las presiones, se debe analizar la diferencia de presión entre el primer aspersor al que le llega agua y el aspersor en la posición que se definió como la más crítica, dicha diferencia debe resultar **menor** a las pérdidas admisibles.

$$\Delta P = P_{\text{prim}} - P_{\text{dis}} \quad (31)$$

Donde:

ΔP : Diferencia de presión entre el primer y último aspersor [mca]

Pprim: Presión del primer aspersor al que le llega agua [mca]

Pdis: Presión distal (último aspersor o más crítico) [mca]

5.3.5 Carga dinámica total

La carga dinámica total determina lo que debe vencer la bomba en términos de presión, tomando en cuenta las pérdidas por fricción a lo largo de las tuberías, diferencias de altura por topografía y caídas de presión por distintos elementos del sistema como filtros y válvulas:

$$CDT = P_m + (0.05) * (P_e + H_{fprinc}) + H_{fprincip} \pm \Delta Z + CP_{valv} + CP_{filt} \quad (32)$$

Donde:

CDT: Carga dinámica total [mca]

P_m: Presión a la entrada de la múltiple [mca]

P_e: Presión a la entrada del lateral [mca]

H_{fPrinc}: Pérdidas en la tubería principal [mca]

ΔZ: Diferencia de altura a lo largo de la múltiple (+ si sube, - si baja)

CP_{valv}: Caída de presión debido a una válvula [mca]

CP_{filt}: Caída de presión debido al sistema de filtrado [mca]

Elección de la bomba

Para elegir la bomba que alimentará el sistema de riego, se toman los valores de carga dinámica total, un factor de seguridad de alrededor de 10 psi (7 mca) adicionales para determinar la presión de operación; y caudal del sistema; la bomba que en su curva de sistema a partir de ambos valores se obtenga un punto de operación dentro de la zona de máxima eficiencia será apta para el sistema.

Volumen necesario para el reservorio

Se debe definir el volumen necesario para el reservorio dado que en función de este varía el precio de construcción de este:

$$Vol = Q_{sis} * T_{riego} * \#Zonas \quad (33)$$

Donde:

Vol: Volúmen necesario en el reservorio [m³/día]

Q_{sis}: Caudal del sistema [m³/h]

T_{riego}: Tiempo de riego [h]

#Zonas: Número de zonas de riego

Caudal de la bomba de llenado

La operación del sistema a nivel de bombeo consta de una bomba para llenado del tanque y la bomba para el sistema de riego, es preciso que la bomba de llenado asegure que cada día se tenga disponible el volumen necesario para abastecer el riego para esto al igual que en la selección de la bomba del sistema se necesita conocer su caudal.

Según las necesidades del cliente, se debe operar con una bomba solar el llenado, para esto se define un rango de horas operativas para la bomba y a través de la ecuación (34) se obtiene el caudal necesario en la bomba de llenado.

$$Q_s = \frac{Vol}{Rh} \quad (34)$$

Donde:

Qs: Caudal de la bomba de llenado [m³/h]

Vol: Volumen necesario en el reservorio [m³]

Rh: Rango de horas operativas para la bomba solar [h]

5.4 Diseño del sistema de riego por goteo

5.4.1 Diseño agronómico

El primer paso para el diseño de riego por goteo es la elección de la manguera de goteo, luego se inicia el diseño agronómico con el cálculo del Porcentaje de Suelo Humedecido (PAR), para esto se hace uso del cuadro 5; en este proyecto se utilizan dos líneas de goteo por hilera de árboles por lo que el PAR se determina a través de la Ecuación (35) cuyos valores se muestran ubicados en el campo en la Figura 14.

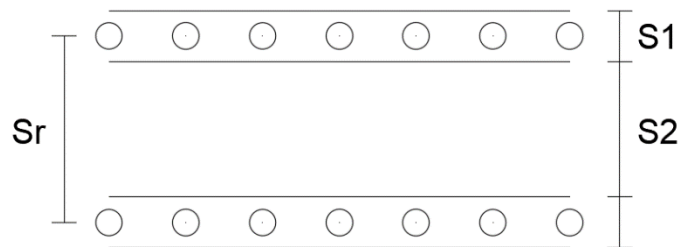


Figura 14. Disposición de los espaciamientos para dos líneas de goteros en el campo

Elaborado con: AutoCAD.

$$PAR = \frac{P1 \cdot S1 + P2 \cdot S2}{Sr} \quad (35)$$

Donde:

PAR: Porcentaje de suelo humedecido [%]

P1: PAR1 [%]

P2: PAR2 [%]

S1: Espaciamiento entre laterales [m]

S2: Espaciamiento entre un lateral de una hilera y el primer lateral de la siguiente hilera [m]

Sr: Espaciamiento entre hileras de árboles [m]

Se entra al Cuadro 5 primero por el caudal del gotero, a la columna con el caudal más cercano, luego se selecciona la textura que determina la columna, sabiendo la columna, se sabe el espaciamiento entre goteros, luego se asume como PAR1 el primero de arriba hacia abajo que tenga 100% y se asocia con el espaciamiento de laterales que sería S1; se puede obtener S2 y entrando a la tabla con el S2 se obtiene el P2 en la columna respectiva a la manguera seleccionada; para finalizar, el Sr ya se sabe por lo que se tienen todos los datos necesarios para obtener el PAR.

Cuadro 5. Valores de PAR para distintas líneas de goteo según caudal y textura de suelo

Espaciamiento entre Laterales [m]	Descarga del gotero [L/h]														
	< 1.5			2			4			8			> 10		
	Textura del suelo														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	Espaciamiento de los goteros sobre el lateral de [m]														
	0.2	0.5	0.9	0.3	0.7	1	0.6	1	1.3	1	1.3	1.7	1.3	1.6	2
Porcentaje del área bajo riego (estimado) [%]															
0.8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1.2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1.5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2.5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3.5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4.5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6	5	12	20	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

Fuente: Material del curso de riego a presión

Para determinar el consumo del cultivo, se utilizó el mismo obtenido de la metodología de Diczbali & Wicks (2002) en la propuesta de microaspersión, además, la evapotranspiración y láminas neta, se sabe que es la misma, por lo que el resto del diseño agronómico se presenta a continuación:

Lámina bruta

$$Lb = \frac{Ln}{Ef} \quad (36)$$

Donde:

Lb: Lámina bruta [mm]

Ln: Lámina neta [mm]

Ef: Eficiencia para goteo, se asume una eficiencia de 90%

Tiempo de riego

$$Tri = \frac{Lb * Sp * Sh}{Qgot} \quad (37)$$

Donde:

Tri: Tiempo de riego [h]

Lb: Lámina bruta [m]

Sp: Espaciamiento entre plantas [m]

Sh: Espaciamiento entre hileras [m]

Qgot: La suma del caudal de todos los goteros dentro del área del cultivo (Sp*Sh) [m³/h]

Máximo número de operaciones en que se divide el área

$$N \leq \frac{FR * Hd}{Tri} \quad (38)$$

Donde:

N: Máximo número de operaciones en que se divide el área

FR: Frecuencia de riego [día]

Hd: Horas disponibles para riego al día [h]

Tri: Tiempo de riego [h]

Caudal del sistema

$$Qsis = \frac{AT * Lb}{N * Tri} \quad (39)$$

Donde:

Qsis: Caudal del sistema [m³/h]

AT: Área total [m²]

Lb: Lámina bruta [m]

N: Máximo número de operaciones en que se divide el área

Tri: Tiempo de riego [h]

Nota: El caudal del sistema NO debe ser mayor al disponible

Área de cada unidad

$$Au = \frac{A_T}{N} \quad (40)$$

Donde:

Au: Área de cada unidad [m²]

A_T: Área total [m²]

N: Máximo número de operaciones en que se divide el área

5.4.2 Diseño hidráulico

En el caso de goteo, no se debe diseñar los laterales dado que ya se ha elegido una manguera y esta posee características ya definidas sin embargo, se deben calcular sus pérdidas que varían a nivel del factor f debido a las formas de los goteros dentro de la manguera, para averiguar este factor se debe despejarlo de la fórmula de Hazen-Williams (Ecuación (23)) utilizando la longitud máxima del lateral en cero pendiente, calculando la cantidad de goteros en dicha longitud y sumando su consumo para obtener el caudal con la presión de operación máxima, dicha ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$fg = \frac{Po \max}{1.131 \times 10^3 * \left(\frac{Qlat}{Coef \ mat}\right)^{1.852} * Diam \ int^{-4.872} * L \ lat} \quad (41)$$

Donde:

fg: Factor f de goteo

Po max: Presión de operación máxima del gotero [mca]

Qlat: Caudal del lateral [m³/h]

Coef mat: Coeficiente del material

Diam int: Diámetro interno de la manguera [mm]

L lat: Longitud del lateral [m]

Con el factor f despejado, ya se pueden calcular las pérdidas con la ecuación de Hazen-Williams de manera normal.

Diseño de la múltiple

El diseño de la múltiple se realiza por el método de velocidad permisible el cual consiste en tomar una velocidad límite de 2 m/s dentro de la tubería y despejar el diámetro teórico de la ecuación de la continuidad utilizando como caudal la suma de dos veces el caudal de un lateral por cada hilera de árboles.

$$Diam Mul = 1000 * \sqrt{\frac{(4/3600)*Qmul}{Vadm*\pi}} \quad (42)$$

Donde:

Diam mul: Diámetro teórico de la múltiple [mm]

Qmul: Caudal de la múltiple [m³/s]

Vadm: Velocidad admisible dentro de la múltiple [m/s]

Teniendo el diámetro teórico en mm, se procede a elegir entre los diámetros comerciales el más adecuado para suplir las necesidades del diseño.

5.4.3 Análisis de presiones

En goteo el análisis de presiones es poco diferente dado que la manguera que se utilizó es autocompensante, esto quiere decir que siempre que la presión suministrada al lateral se encuentre en el rango definido por el fabricante, los goteros emitirán el mismo caudal, esto permite que simplemente se haga un análisis para determinar cuanta presión debe haber a la entrada de la válvula del sistema asegurándose que al final del lateral se supla al menos la presión mínima del rango de operación de la manguera lo cual asegura que en el resto del lateral se operará dentro del rango necesario; la ecuación para dicho análisis es la siguiente:

$$Pv = Po min + Hflat + Hfmul \pm \Delta Z \quad (43)$$

Con:

Pv: Presión a la entrada de la válvula [mca]

Po min: Presión de operación mínima de la manguera [mca]

Hflat: Perdidas de carga dentro del lateral [mca]

Hfmul: Perdidas de carga dentro de la múltiple [mca]

ΔZ : Diferencia de altura total [m]

Diseño de la principal

Para el diseño de la principal se utilizó el mismo método usado en microaspersión a través de la Ecuación (28) con el método de carga unitaria.

Carga dinámica Total

La determinación de la carga dinámica que llevará la bomba para operar el sistema se realizó a través de la Ecuación (32) de la misma manera que en el diseño para microaspersión.

Volumen del reservorio y Caudal de llenado

La determinación del volumen del reservorio y caudal de la bomba de llenado se hacen mediante las ecuaciones (33) y (34) de la misma manera que en el diseño de microaspersión.

5.5 Modelación hidráulica con EPANET

Con el fin de verificar el correcto funcionamiento del sistema a nivel hidráulico, se realizó una modelación con el software EPANET donde se pudiera visualizar las velocidades dentro de la tubería y las presiones en el caso de la válvula más lejana en operación, para realizar esta modelación es importante definir el programa en unidades de caudal como “CMH” o Metros Cúbicos por Hora, en EPANET, las unidades de caudal definen el resto de unidades en el programa, para efectos de esta modelación los resultados de presión serán presentados en metros columna de agua [mca], el caudal como se mencionó anteriormente en metros cúbicos por hora [m^3/h] y la velocidad de flujo en metros por segundo [m/s].

5.6 Análisis de golpe de ariete

Para realizar el análisis del golpe de ariete se debe conocer primero la celeridad, esta se define por la fórmula propuesta por Allievi:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \frac{D}{e}}} \quad (44)$$

Donde:

D: Diámetro interno de la tubería [mm]

e: espesor de la tubería [mm]

K: coeficiente función del módulo de elasticidad (ε) del material constitutivo de la tubería, que representa principalmente el efecto de la inercia del grupo motor bomba cuyo valor se define por:

$$K = \frac{10^{10}}{\varepsilon} \quad (45)$$

Donde:

ε [kg/cm²] = 3×10^8 para PVC

Si se sabe el tiempo de cierre de la válvula por dato de fábrica, se evalúa de la siguiente manera para determinar si el cierre de la válvula es lento o rápido:

$$T < \frac{2 \cdot L}{a} \rightarrow \text{Cierre rápido} \quad (46)$$

$$T > \frac{2 \cdot L}{a} \rightarrow \text{Cierre lento} \quad (47)$$

Luego de conocer qué tipo de cierre se tiene, se calcula el golpe de ariete con la fórmula correspondiente al mismo.

Para cierre lento la fórmula de Michaud

$$\Delta H = \frac{2 * L * v}{g * T} \quad (48)$$

Donde:

ΔH : Sobrepresión debida al golpe de ariete [mca]

L: Longitud de la tubería [m]

v: velocidad del régimen de agua [m/s]

T: tiempo de parada o cierre, según sea el caso [s]

g: Aceleración de la gravedad [m/s²]

Para cierre rápido la fórmula de Jouguet

$$\Delta H = \frac{L * v}{g * T} \quad (49)$$

Donde:

ΔH : Sobrepresión debida al golpe de ariete [mca]

L: Longitud de la tubería [m]

v: velocidad del régimen de agua [m/s]

T: tiempo de parada o cierre, según sea el caso [s]

g: Aceleración de la gravedad [m/s²]

5.7 Análisis económico

Se establecieron los flujos de caja anuales y se aplicaron los índices financieros presentados a continuación:

-Período de recuperación

-Valor actual neto

-Tasa interna de retorno.

Se obtuvieron los siguientes parámetros:

Inversión Inicial: comprende los desembolsos que se realizan al inicio del proyecto, tanto en activos como en capital de trabajo.

Flujo de Caja: son los flujos que resultan de restar los egresos de los ingresos generados en cada periodo.

Valor Residual: Es el valor económico estimado de todos los activos al final del horizonte de planeamiento del proyecto.

Horizonte de Planeamiento: Es el número de años para los cuales se proyectan los flujos de caja.

Obtener el Valor Actual Neto (VAN)

VAN = Valor presente de las entradas de efectivo – inversión inicial

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - CF_0 \quad (50)$$

Donde:

CF_t = Valor presente de las entradas de efectivo

CF_0 = inversión inicial

k = tasa equivalente al costo de capital de la empresa

t = tiempo

Obtener la Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + TIR)^t} - CF_0 \quad (51)$$

*El TIR no es más que la VAN igualada a cero

5.8 Análisis ambiental

El análisis ambiental se realizó con el método de Arboleda, es un método de matrices de valoración cualitativa, requieren aplicar inicialmente el procedimiento para identificar los impactos, cuyo resultado es una lista de consecuencias negativas o positivas que se presentan durante el desarrollo del proyecto o durante su vida útil, que deben ser evaluados individualmente para determinar su significancia. Los parámetros y sus respectivos rangos para evaluar cada uno de los impactos se muestran en Cuadro 6.

Cuadro 6. Valores para realizar de manera correcta la evaluación ambiental según el método de Arboleda

PRESENCIA	DURACIÓN	EVOLUCIÓN	MAGNITUD	PUNTAJE
Cierta	Muy larga o permanente (> 10 años)	Muy rápida (< 1mes)	Muy alta (Mr> a 80%)	1.0
Muy probable	Larga (> 7 años y < 10 años)	Rápida (> 1 mes y < 12 meses)	Alta (> 60 %y < 80 %)	0.7<0.99
Probable	Media (> 4 años y < 7 años)	Media (> 12 meses y < 18 meses)	Media (> 40 % y < 60 %)	0.4<0.69
Poco Probable	Corta (> 1 años y < 4 año)	Lenta (> 18 meses y < 24 meses)	Baja (> 20 % y < 40 %)	0.2<0.39
No probable	Muy corta (< 1 año)	Muy lenta (> 24 meses)	Muy baja (< 19%)	0.01<0.19

Fuente: (Arboleda, 2008)

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Siguiendo los procedimientos planteados en la metodología se logró obtener como resultado los parámetros necesarios para el diseño de las propuestas que generen soluciones a los objetivos planteados; se presenta la información a continuación:

6.1 Análisis del terreno

El análisis de los datos del levantamiento topográfico con Surfer permitió generar el mapa de curvas de nivel que detalla las alturas dentro del terreno mostrado en la Figura 15, al no apreciarse las curvas de nivel, se incluye en la Figura 16 una escala de colores dentro de las curvas de nivel para mayor entendimiento del comportamiento de alturas dentro del terreno; el plano con las curvas de nivel se encuentra en el Anexo 7.



Figura 15. Plano curvas de nivel del levantamiento topográfico

Elaborado con: Surfer 13

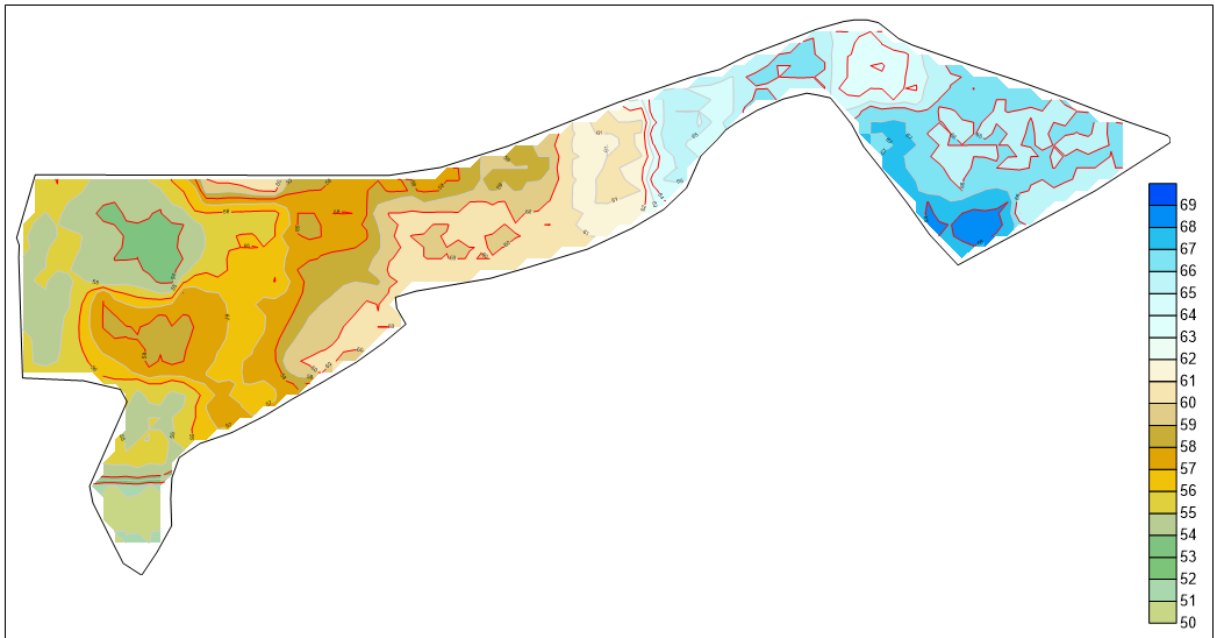


Figura 16. Plano de curvas de nivel con escala a color [m.s.n.m]

Elaborado con: Surfer 13

De dichos planos se obtiene lo siguiente:

Altura máxima [m.s.n.m.]	69
Altura mínima [m.s.n.m.]	50

Para entender la ubicación de las alturas en el terreno, el plano de curvas de nivel ubicado sobre el área del proyecto se muestra en la Figura 17.



Figura 17. Plano de curvas de nivel sobre el área del proyecto

Elaborado con: AutoCAD 16

6.2 Determinación del consumo neto

Según la metodología empleada para obtener el dato de consumo neto por día, es necesario obtener un diámetro de copa, para este proyecto dicho dato se obtuvo de la investigación del cultivo de Rambután de Arias (et. al; 2016) donde trabajan con árboles de todas las edades; de estos árboles se obtiene un promedio de dosel como dato definitivo, dicha información se muestra en el Cuadro 7; debe hacerse la aclaración de que el deseo del cliente es un riego “complementario” la ubicación de la zona brinda por su propia cuenta las necesidades hídricas al cultivo por lo que la utilización de este sistema sería únicamente para que puedan aplicar agua cuando deseen y así adelantar etapas fenológicas.

Cuadro 7. Diámetros de dosel para distintas edades de Rambután

Diámetro tallo [cm]	Diámetro Copa [m]
1,53	0,45
2,13	1,16
1,2	0,6
5,2	1,9
5,8	2,4
5,2	2
7,9	2,8
5,6	2,2
15	4,6
19	7
23	5,6
16	3,9
27	10,6
26	8,2
Promedio Diam copa [m]	3,815

Fuente: (Arias, Velásquez, Mateus, Chaparro, & Orduz, 2016)

Los resultados de consumo según etapa de cultivo que arroja la metodología utilizada se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Consumo neto recomendado según la etapa de cultivo

Etapa del cultivo	Consumo [L/árbol/día]
inicio de Floración	22,9
Floración	45,3
Formación de Frutas	55,3
Cosecha	45,7

Para efectos de diseño se utiliza el caudal requerido en la etapa más crítica el cual corresponde a 55 Litros por árbol por día; este será el parámetro de caudal para los diseños; se sabe además que el espaciamiento determinado es de 8x8 metros en triángulo o “pata de gallo”.

6.3 Diseño de Riego por microaspersión

A continuación, se muestran los resultados de la primera propuesta de diseño:

6.3.1 Diseño agronómico

Datos básicos para el diseño

Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó el software CROPWAT de la FAO el cual a su vez utiliza las bases de datos de CLIMWAT, software de la misma entidad y complemento del CROPWAT; este con la estación meteorológica más cercana arroja una Eto de 3.96 mm/día.

Se utiliza la literatura de Programa Hidrológico Internacional (PHI) (2007) donde se genera un mapa con las evapotranspiraciones de referencia para todo Costa Rica, dicho mapa (mostrado en la figura x) apunta que, para la zona de Quepos, la Eto media anual es de 4 mm/día.

Para saber la textura del suelo se le hizo la consulta al dueño de la finca quien asegura que es media; mientras que el coeficiente de cultivo Kc es obtenido de la literatura de la FAO escrita por Allen et al. (2006).

En el Cuadro 9 se muestra el resumen de los datos recopilados necesarios para el diseño, Siendo las evapotranspiraciones obtenidas tan parecidas se decidió tomar como valor de evapotranspiración potencial 4 mm/día:

Cuadro 9. Datos básicos para el diseño agronómico

ETo PHI [mm/día]	4	Fuente: PHI (2007)
ETo CROPWAT [mm/día]	3,96	Fuente: (FAO, 2018)
Kc	1,15	Fuente: Allen, et. Al (2006)
Etr con ETo = 4 mm/día	4,6	
Textura	Media	Fuente: Dueño de la finca

La lámina neta corresponde a la recalculada con la FR de un día despejada de la Ecuación (7), la lámina bruta se obtuvo con la Ecuación (8), el consumo bruto por árbol con la Ecuación (9), los turnos de riego al día con la Ecuación (14), las divisiones de área con la Ecuación (15), la superficie de riego simultánea con la Ecuación (16), el tiempo de riego con la Ecuación (11), el caudal de cada unidad con la Ecuación (17) y el Caudal mínimo del sistema con la Ecuación (13); el resumen de los resultados se muestra en el Cuadro 10 :

Cuadro 10. Resumen de resultados del diseño agronómico para la propuesta de microaspersión

Lámina neta [mm]	4,6
Frecuencia de Riego	1 día
Eficiencia	85%
Lámina bruta [mm]	5,41
Consumo bruto por árbol	61,84 litros/árbol/día
Turnos de riego al día	22
Divisiones máximas de área	22
Superficie de riego de forma simultánea	0,8 ha
Tiempo de riego	0,5 h (30 min)
Caudal de cada unidad de riego	16,25 m ³ /h
Caudal mínimo del sistema	86,56 m ³ /h

6.3.2 Diseño hidráulico

Para el diseño hidráulico se tienen 22 zonas de 0,8 ha cada una que funcionarán a lo largo de las 11 horas de trabajo diariamente, el plano con la división se muestra en la Figura 18 y se encuentra completo en el Anexo 8.



Figura 18. Plano de división de áreas

Elaborado con: AutoCAD 16

Dado que la frecuencia de riego es de un día, se tiene únicamente un turno de riego donde se riegan las 22 zonas con un tiempo de riego de 30 minutos cada una por aparte como se muestra en la Figura 19.

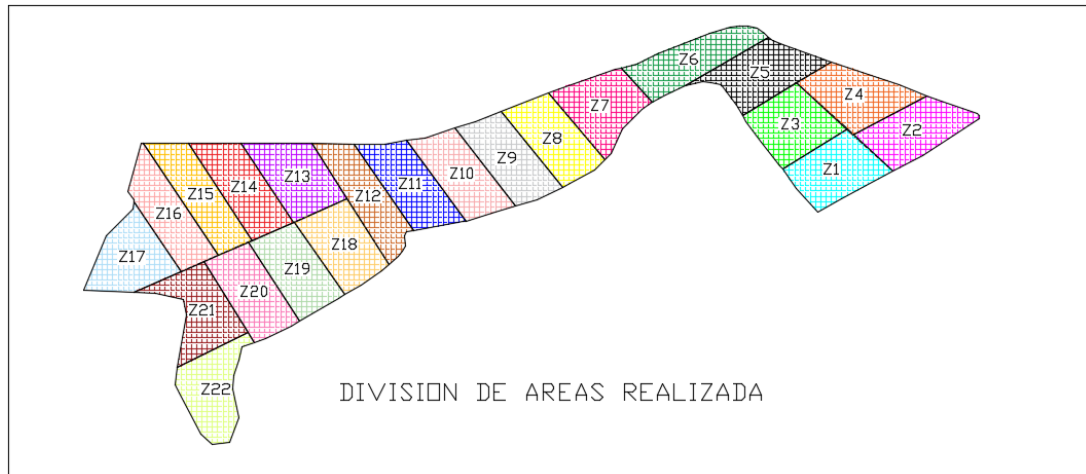


Figura 19. División de operaciones en cada turno de riego

Elaborado con: AutoCAD 16.

Elección del aspersor

Para elegir el aspersor se muestra en el Cuadro 11 el resultado del diámetro mínimo de humedecimiento con el PAR asumido al 70%.

Cuadro 11. Diámetro mínimo del aspersor

Diámetro mínimo de humedecimiento para el aspersor	
PAR asumido	70%
Diámetro mínimo	7,55 m

Teniendo como base este diámetro de humedecimiento mínimo, se eligió entre la gama de productos de la empresa, un microaspersor adecuado; la información del microaspersor elegido se muestra en el Cuadro 12 y su hoja técnica completa en el Anexo 1.

Cuadro 12. Características del microaspersor Rain Bird Micro-Bird Spinner

Rain Bird Micro-Bird Spinner Boquilla SP24-340 (Roja)	
Presión de operación	3 bar (30,6 mca)
Caudal	130 L/h
Diámetro de humedecimiento	7,8 m
PAR del aspersor	75%

El diseño hidráulico se realizó bajo el concepto de la válvula clásica que pretende determinar un dimensionamiento de área similar al de la mayoría de los sectores de riego que permita establecer los límites de instalación como las máximas longitudes de tubería en laterales o múltiple, así como para cuantificar la cantidad de materiales necesarios por unidad de riego dado que con este método se define de manera bastante precisa la cantidad de materiales necesarios para aplicar el riego según el diseño en el área definida para la válvula; las posibles variaciones serán por irregularidades en el terreno que dificulten la instalación; en este diseño la válvula clásica diseñada se muestra en la Figura 20 y su plano completo en el Anexo 9.

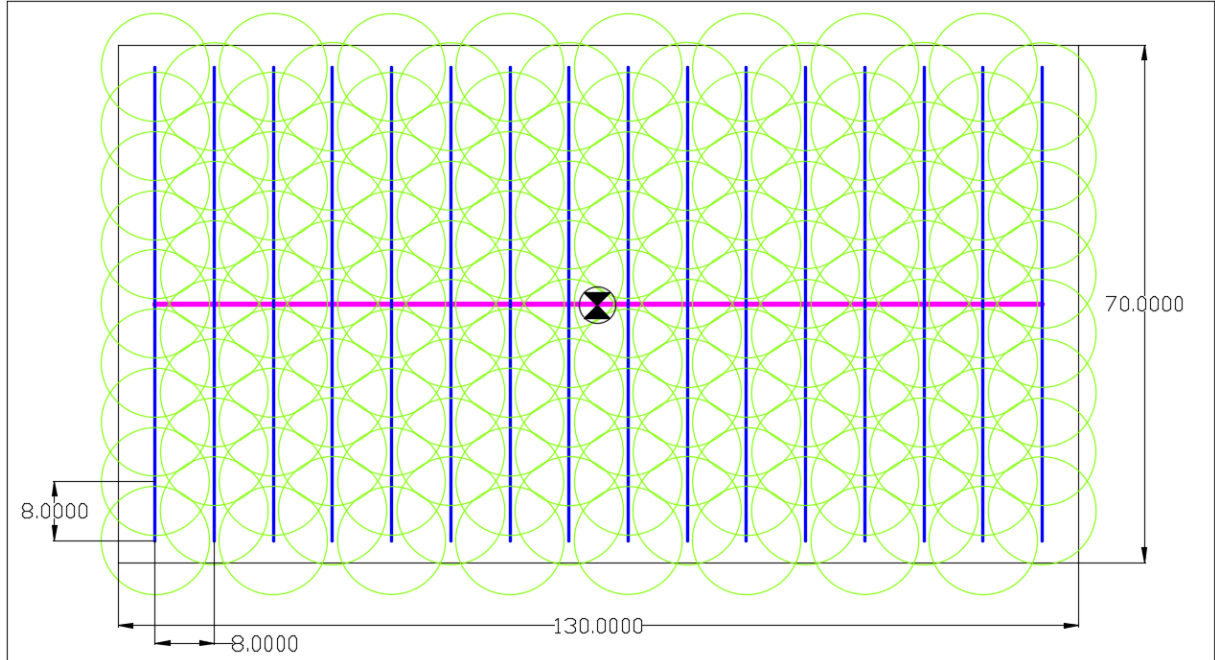


Figura 20. Válvula clásica utilizada en propuesta de Microaspersión

Elaborado con: AutoCAD 16

Se ubicó la válvula en el centro del terreno dado que permite que al estar dividida la múltiple se tengan menos pérdidas porque que se divide el caudal y la longitud de la misma logrando con esto poder utilizar diámetros menores, mismo efecto ocurre con los laterales, esto recarga un poco la inversión en tubería principal para alcanzar el centro del terreno pero lo reduce en laterales y múltiples que son más numerosos; siguiendo el procedimiento mencionado en la metodología se realizó el diseño utilizando las pérdidas admisibles mostradas en el Cuadro 13 siendo el caso del aspersor más crítico ubicado en la zona número 15 con el peor desnivel que se encuentra en el terreno de 2 metros subiendo; se obtuvieron los resultados del diseño hidráulico mostrados en el Cuadro 14.

Cuadro 13. Pérdidas admisibles utilizadas en el diseño

Pérdidas admisibles	6,12 mca
Perdidas admisibles en el lateral	4,896 mca (80%)
Pérdidas admisibles en la múltiple	1,224 mca (20%)

Cuadro 14. Resultados del diseño hidráulico

Número de aspersores por lateral	9
Longitud de laterales	64m (32 m para el cálculo)
Caudal del lateral	1,17 m ³ /h (0,585 m ³ /h para el cálculo)
f lateral	0,3892
Diámetro Teórico lateral	11,5 mm
Diámetro comercial elegido para lateral	23,5mm [Diam nom. 3/4" SDR 17]
Pérdidas en el lateral	0,102 mca
Velocidad de flujo en el lateral	0,5 m/s
Número de laterales por múltiple	16
Longitud de la múltiple	120 m (60 m para el cálculo)
Caudal de la múltiple	18,72 m ³ /h (9,36 m ³ /h para el cálculo)
f múltiple	0,3738
Diámetro Teórico Múltiple	49,5 mm
Diámetro comercial elegido Múltiple	57,4 mm [Diam nom. 2" SDR 41]
Pérdidas en la Múltiple	0,401 mca
Velocidad de flujo en la Múltiple	1 m/s

Diseño de la tubería principal

Siguiendo el procedimiento de diseño para tubería principal según el método de carga unitaria se tienen los resultados mostrados en el Cuadro 15; por la naturaleza de operación del proyecto donde se opera cada válvula por separado la tubería mantiene siempre el mismo diámetro.

Cuadro 15. Resultados de diseño Tubería Principal

Longitud	1155 m
Caudal	18,72 m ³ /h
Diámetro teórico	70,94 mm
Diámetro comercial elegido	84,6 mm [Diam nom. 3" SDR 41]
Pérdidas en la Principal	11,3 mca
Velocidad de flujo en la principal	1 m/s

Análisis de presiones

Siguiendo el procedimiento para obtener los valores de presión en distintos puntos del sistema para su correcto funcionamiento se obtuvieron los resultados mostrados en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Resultados del análisis de presiones

Presión a la entrada del Lateral	31,59 mca
Presión a la entrada de la Múltiple	31,89 mca
Presión distal	29,24 mca
Presión del primer aspersor	31,74 mca
Presión distal	29,24 mca
ΔP	2,503 (2,503 < 6,12)

Volumen requerido en el reservorio y caudal de la bomba de llenado

Siguiendo el procedimiento para el cálculo del volumen requerido en el reservorio se obtiene que teniendo un caudal de operación de $18,72 \text{ m}^3/\text{h}$ por la media hora de aplicación en cada zona se tiene que cada una de las 22 zonas consume $9,36 \text{ m}^3/\text{h}$ por lo que las 22 zonas requieren un volumen almacenado de $205,92 \text{ m}^3$ el cual debe ser llenado por lo menos en las 11 horas de operación; esto implica que el caudal de la bomba de llenado debe ser de mínimo $18,72 \text{ m}^3/\text{h}$ (82 gpm).

Cabezal de Riego

En el cabezal de riego se tiene el equipo de bombeo, la unidad de filtrado y el sistema de automatización; para seleccionar el equipo de bombeo es importante haber seleccionado antes el equipo de filtrado y automatización dado que estos generaran ciertas cargas adicionales sobre la bomba, por lo cual se hará la selección de la bomba de último.

Equipo de filtrado

Para este diseño se utiliza agua de bastante calidad obtenida de un pozo según las recomendaciones de la marca Jimten, se decidió utilizar un filtro hidrociclónico modelo X-267 (Figura 21) de 120 mesh (130 micras) de dos pulgadas (NPT) de diámetro de entrada y salida con una caída de presión de 8 metros; este filtro cumple con la eliminación de arenas por el sistema hidrociclónico y además con la eliminación de partículas más finas con un bloque filtrante de anillas, el funcionamiento se detalla en la Figura 22; se utilizó una batería de dos filtros de los mencionados como sistema de filtrado para el proyecto (Figura 23).



Figura 21. Filtro Jimten X-257

Fuente: (Jimten, 2018)

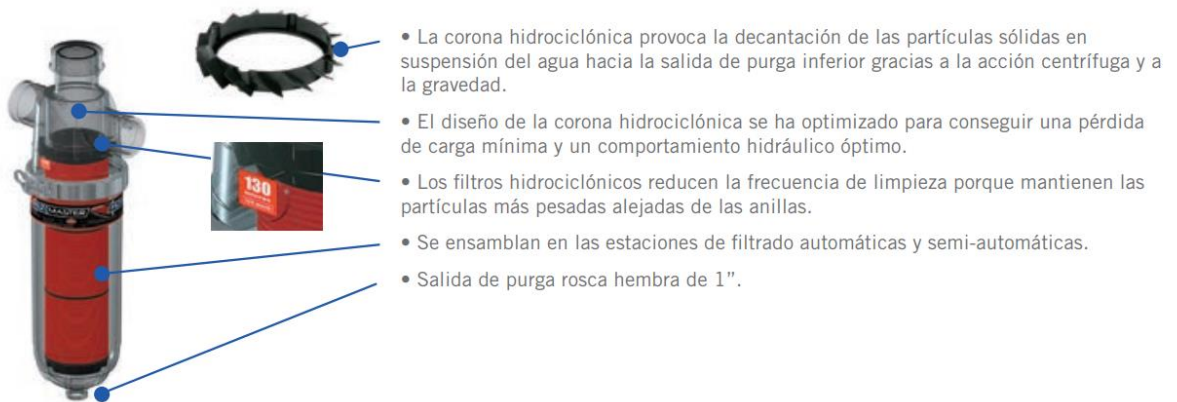


Figura 22. Funcionamiento del filtro Jimten X-257

Fuente: (Jimten, 2018)

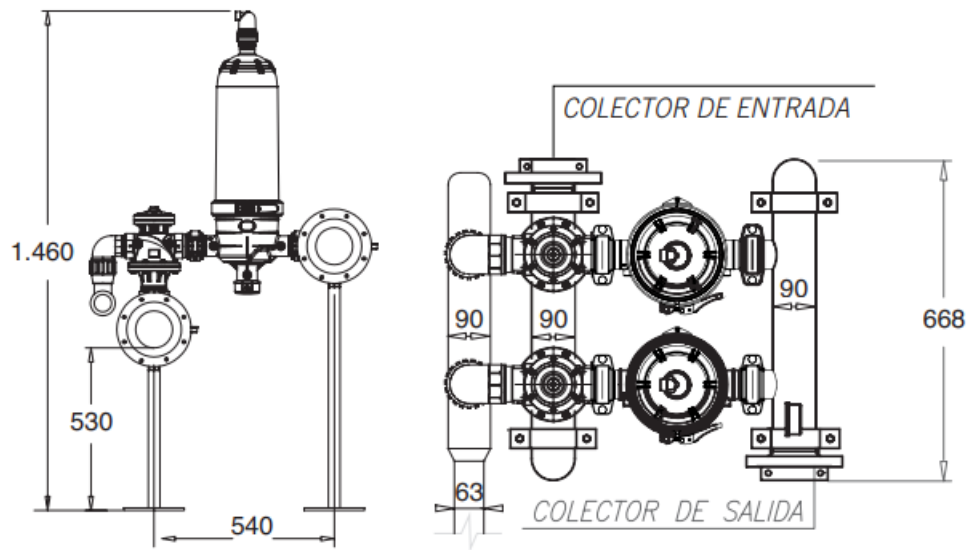


Figura 23. Dimensionado de la batería de dos filtros Jimten en milímetros

Fuente: (Jimten, 2018)

Sistema de automatización

Para este proyecto se utilizó un sistema de automatización hidráulica, este sistema utiliza variaciones de presión entre el cabezal y las válvulas en cada unidad de riego para abrir o cerrar el paso de agua, para este proyecto se utilizaron válvulas IR-205-MZ (Figura 24) dos pulgadas (NPT) de diámetro de entrada y salida de activación hidráulica con una caída de presión de 0,35 mca cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo 6.



Figura 24. Válvula Bermat IR-215-MZ

Fuente: Bermat.com

Para hacer funcionar la activación hidráulica de la válvula se hace una derivación por cada válvula de la tubería principal en el cabezal de riego; cada derivación permite el flujo a través de una tubería pequeña paralela a la principal que llega hasta las válvulas en cada unidad de riego al final de esta tubería un microtubo hace llegar el agua hasta la cámara de la válvula que al sentir el cambio de presión comienza a abrirse, estas válvulas son normalmente cerradas por lo que después de abiertas, al dejar de sentir la presión en la cámara se cerraran de nuevo; por este motivo la operación total del sistema se lleva a cabo en el cabezal, donde se abre el paso de las derivaciones para abrir las válvulas y para cerrarlas, al ser imperativo detener el flujo en la tubería paralela se instala un desagüe en la derivación que al abrirse corta el flujo de agua para cerrar la válvula y poder abrir la siguiente.

La automatización del sistema se muestra en el diagrama hidráulico del cabezal con una sola válvula a manera de ejemplo mostrado en la Figura 25; el plano completo del mismo se encuentra en el Anexo 12.

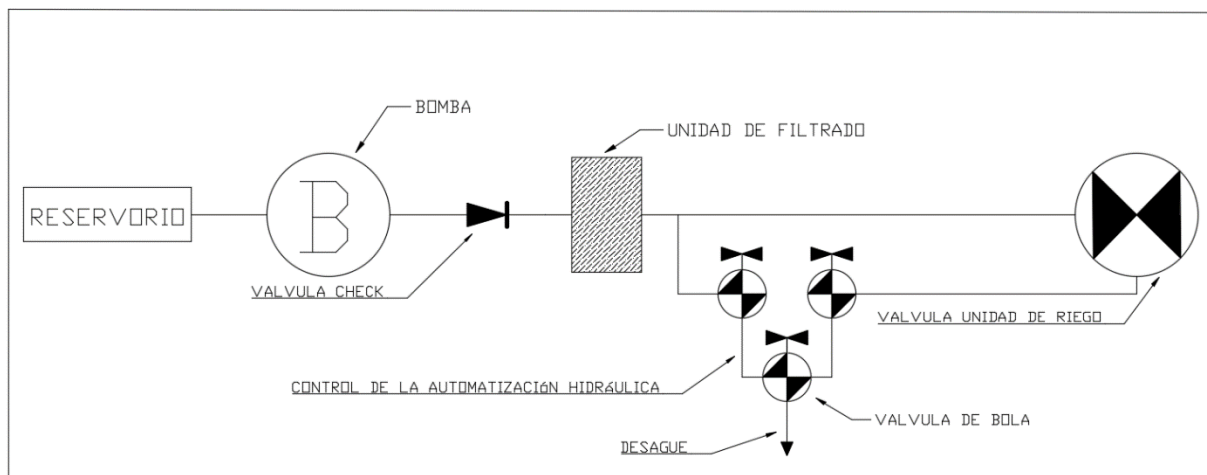


Figura 25. Plano hidráulico del cabezal de riego

Elaborado con: AutoCAD 2016

Carga dinámica total

Siguiendo el procedimiento descrito en la metodología, los datos de cargas y la carga dinámica total del sistema se muestran en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Resultados de la Carga Dinámica Total

Presión a la entrada de la Múltiple	31.9 mca
Pérdidas secundarias	2.16 mca
Pérdidas en la Principal	11.3 mca
Diferencia de altura	12 m (bajando)
Equipo de filtrado	8 mca
Válvula a la entrada de la unidad de riego	0.5 mca
Carga Dinámica Total	41.85 mca
Factor de seguridad	10 mca
Carga Dinámica Total Definitiva	51.85 mca

Selección del equipo de bombeo para el riego

Para seleccionar la bomba se toman en cuenta los datos de carga dinámica total y caudal del sistema, en este caso, dichos datos son 51,85 mca (75 psi) y 18,72 m³/h (82 gpm); la bomba donde se encuentra un punto de operación útil para este proyecto es una bomba de combustible Barnes HG 3 130 HF con succión y descarga en tres pulgadas (NPT) de 13 caballos de fuerza cuya curva se muestra en la Figura 26 y la ficha técnica completa en el Anexo 2.

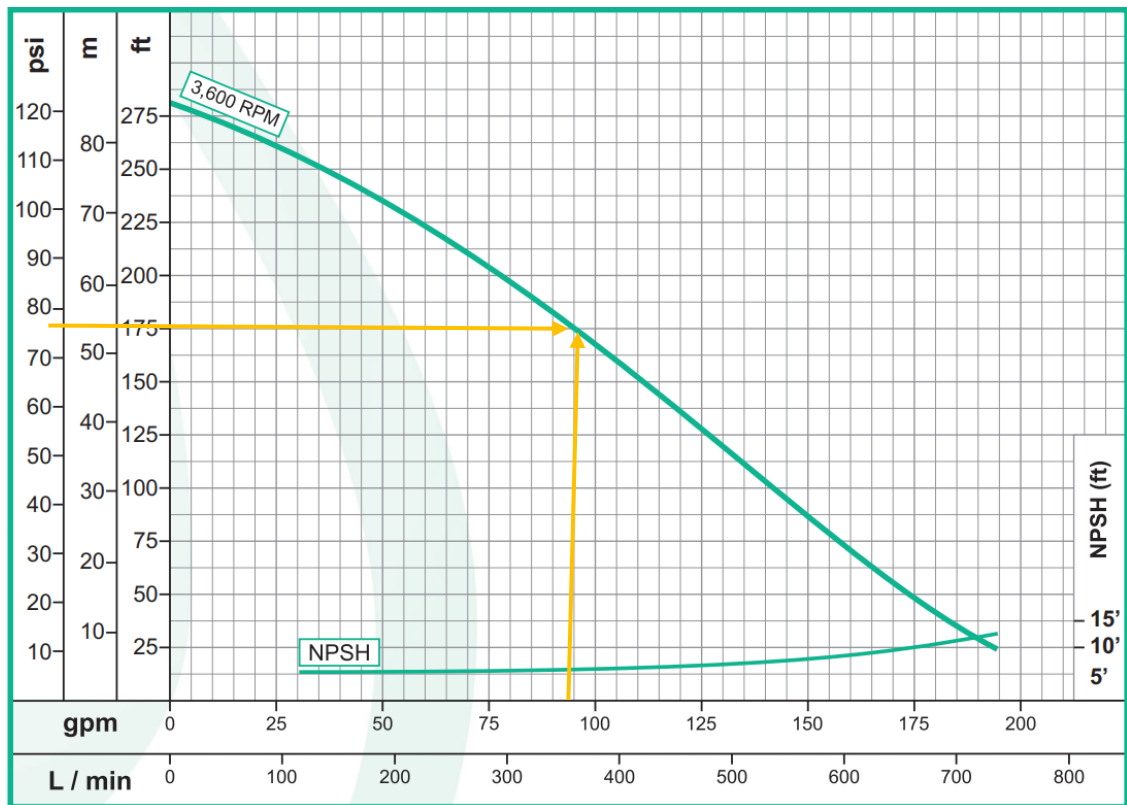


Figura 26. Curva de rendimiento de la bomba Barnes HG 3 130 HF

Esta bomba se adapta bastante bien al sistema porque, aunque da un poco más de caudal su punto de operación se encuentra en la zona de máxima eficiencia hidráulica.

Selección de la bomba solar para llenado del reservorio

A petición del cliente se debe bombear en la medida de lo posible con sistema solar, para esto se utilizó el sistema solar de marca Franklin Electric llamado Photon SolarPak, a través de su selector de bombas brinda la ayuda necesaria para la selección del mejor equipo en función de los paneles solares disponibles y la ubicación del lugar que define el índice solar y las posibles horas operativas promedio que tendría el equipo.

Los paneles solares son comprados a otra empresa, de marca Yingli Solar y tienen las características mostradas en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Características de los paneles solares Yingli Solar

Características de los paneles solares Yingli Solar	
Watts (Wmpp)	230 W
Voltaje (Vmpp)	29,5 V
Voltaje de circuito abierto (Voc)	37 V
Longitud del cable de alimentación	90 m

El índice solar generado por las coordenadas del lugar se muestra en la Figura 27.

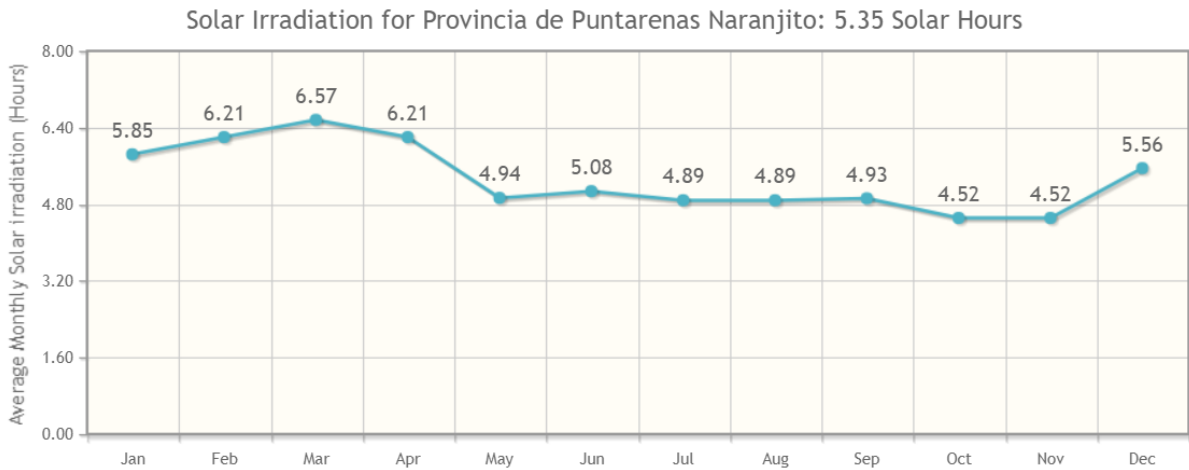


Figura 27. Horas solares para la ubicación del Proyecto

Fuente: franklin.config.intelliquip.com

Con esta información y los datos operativos necesarios (caudal y carga) se buscó entre el catálogo de equipos solares de Franklin sin embargo el equipo más potente, el Photon Solarpak de 35gpm (Ficha técnica en el Anexo 4) está limitado a un caudal de 30 gpm lo cual está muy por debajo de lo requerido (82 gpm) funcionando a partir de dos hileras de 10 paneles solares en serie cada una (20 paneles en total), esta bomba sería capaz de generar 6,8 m³/h por lo que en las horas solares que Franklin define para esta zona generaría un volumen de 39,78 m³ lo cual representa un 19% del volumen requerido.

Esto deriva en dos opciones, renunciar a la utilización de una bomba solar y utilizar bomba sumergible eléctrica o hacer una combinación de bomba solar con un bombeo secundario apoyado por una bomba de combustible en un río a 900 metros de la caseta, esta opción presenta un aumento considerable al proyecto por la compra de más equipo de bombeo y la instalación de la tubería adicional (cuyo diámetro se muestra en el cuadro 21); se abordarán ambas posibilidades.

En caso de requerir un bombeo secundario se debe seleccionar otra bomba de combustible que supla un caudal para llenar los 166,14 m³ restantes; este caudal sería de 15,1 m³/h con la carga dinámica determinada con la información en el Cuadro 19; las pérdidas por fricción fueron obtenidas mediante el método de carga unitaria.

Cuadro 19. Información para la selección de la segunda bomba de combustión

Longitud	900 m
Desnivel	11 m subiendo
Caudal	15.1 m ³ /h (66 gpm)
Diámetro teórico	65.4 mm
Diámetro Comercial elegido	69.5 mm [Diam nom. 2 ½" SDR 41]
Pérdidas en la tubería	15.4 mca
Carga Dinámica Total	26.4 mca (37.5 psi)

Con esta información se selecciona la bomba de combustible más adecuada para el sistema que es la Barnes HG 2 95-2 KL de 9.5 Hp con succión y descarga en dos pulgadas (NPT) cuya curva se muestra en la Figura 28 y la ficha completa en el Anexo 3.

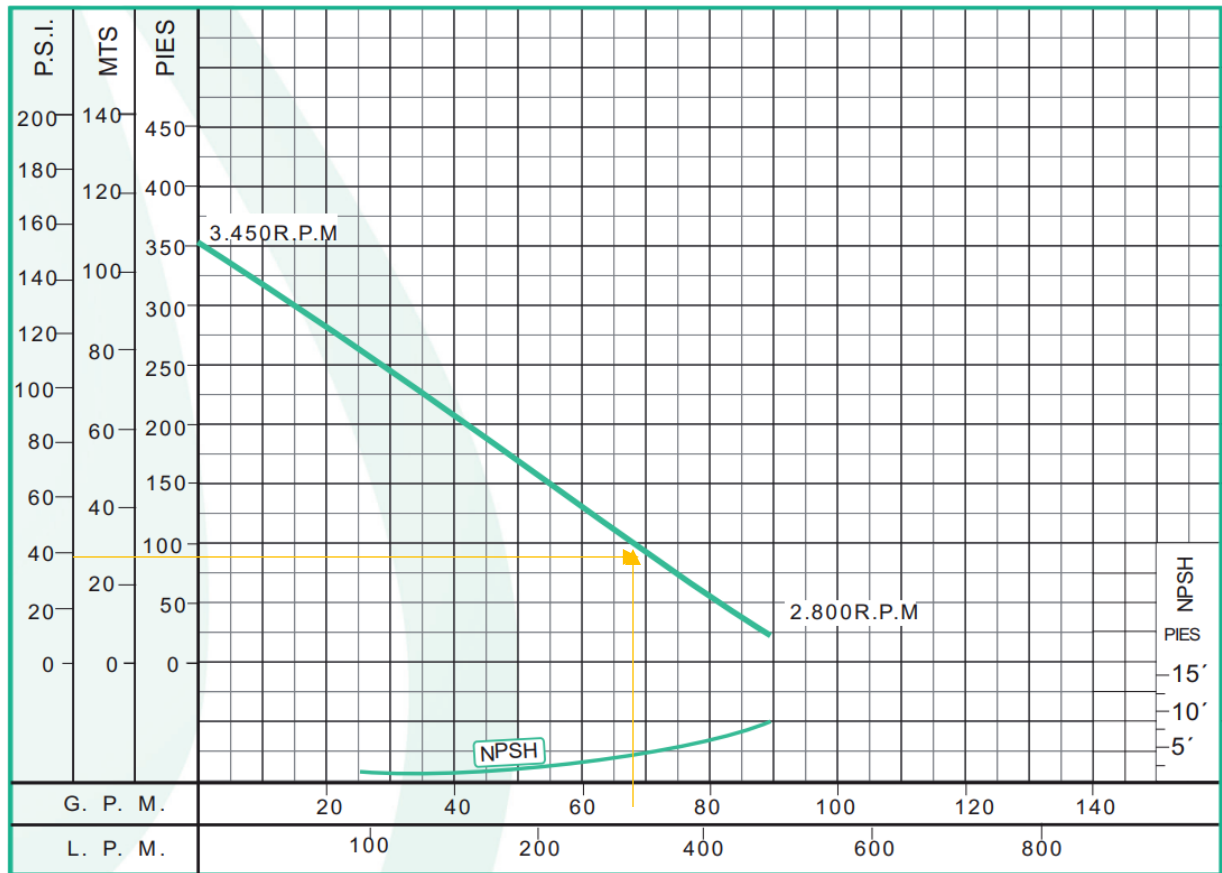


Figura 28. Curva de rendimiento de la bomba Barnes HG 2 95-2 KL

En el caso de optar por una bomba sumergible eléctrica, esta debería ser capaz de soportar el llenado del reservorio por sí sola, para balancear el caudal que esta puede tener de manera que no pase ni todo el día operando ni se limite a las horas operativas se toma un tiempo de llenado de trece horas por lo que la bomba debería de tener un caudal de $15 \text{ m}^3/\text{h}$ (66 gpm) y funcionar a una carga de aproximadamente 100 mca; entre las opciones de Grundfos, la bomba más viable es la 85S100-7 3" de 7.5 Hp, a esta debe añadirse el motor eléctrico Franklin de 7.5 Hp, monofásico 230V y el panel seguridad Franklin que soporte los requerimientos del motor; en la Figura 29 se muestra la curva de rendimiento de la Bomba y se adjunta la ficha completa en el Anexo 5.

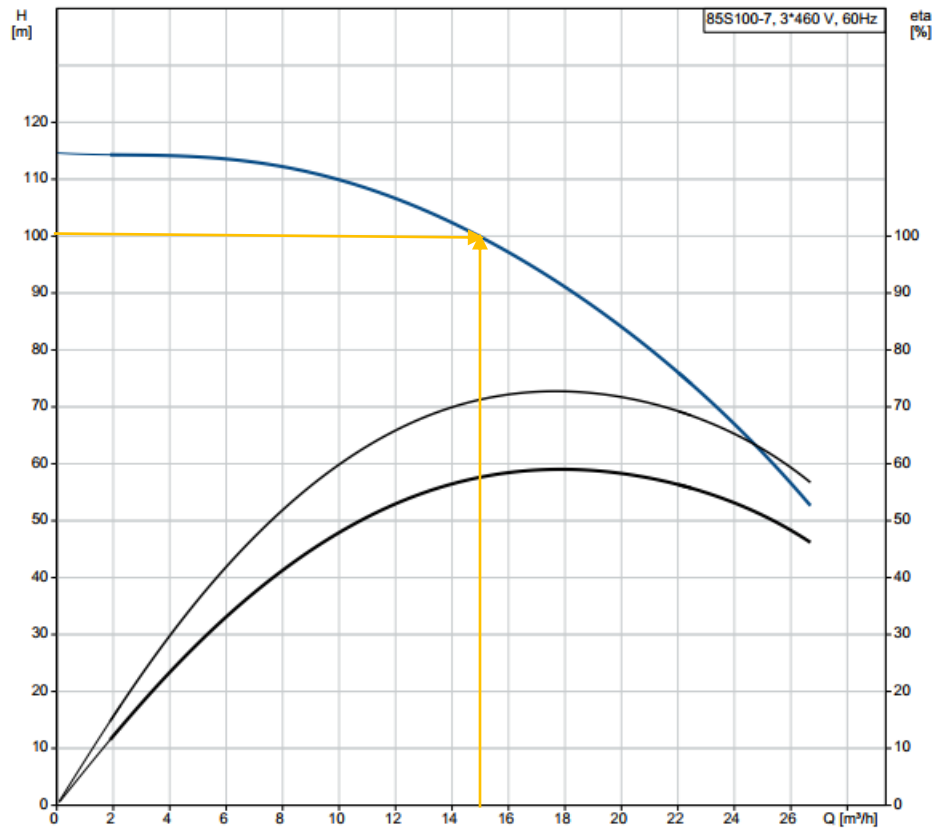


Figura 29. Curva de Rendimiento de la bomba Grundfos 85S100-7 3"

6.4 Diseño de Riego por Goteo

A continuación, se presentan los resultados de la propuesta para riego con goteo.

6.4.1 Diseño agronómico

Los resultados del primer paso del diseño agronómico se muestran en el Cuadro 20, esta información va a permitir elegir la manguera de goteo adecuada.

Cuadro 20. Porcentaje de área bajo riego PAR

Espaciamiento goteros	1 m
P1	100%
S1	0,8
S2	6
P2	20%

Sr	8 m
PAR	25 %

Con esta información se elige la manguera autocompensada VERED 16 de la marca Metzer, las características de esta se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Características de la manguera autocompensada VERED 16

Diámetro interno	15,2 mm
Presión de operación mínima	0,5 bar (5,1 mca)
Presión de operación máxima	2,5 bar (25,5 mca)
KD	0,65
Caudal nominal	3.5 L/h
Espaciamiento	1 m
Longitud máxima de lateral	356 m

Ya se sabe de la propuesta para microaspersión que la evapotranspiración de referencia es 4 mm/día y el Kc del cultivo 1.15 por lo que la evapotranspiración real tiene un valor de 4.6 mm/día.

En el Cuadro 22 se muestran los demás datos del diseño agronómico para la propuesta de goteo.

Cuadro 22. Resultados del diseño agronómico

PAR	25%
Frecuencia de Riego	1 días
Lámina neta	4.6 mm
Eficiencia	90%
Lámina bruta	5,1 mm
Tiempo de riego	0,61 horas (37 minutos)
Número máximo de operaciones	18
Caudal del sistema	81,75 m ³ /h

Área total	176108 m ²
Área de cada unidad de riego	9784 m ²

La división de área para esta propuesta es similar a la de microaspersión, aunque varía en la cantidad de zonas que serían 18 en total, dicha división se muestra en la Figura 30 y el plano completo en el Anexo 10.

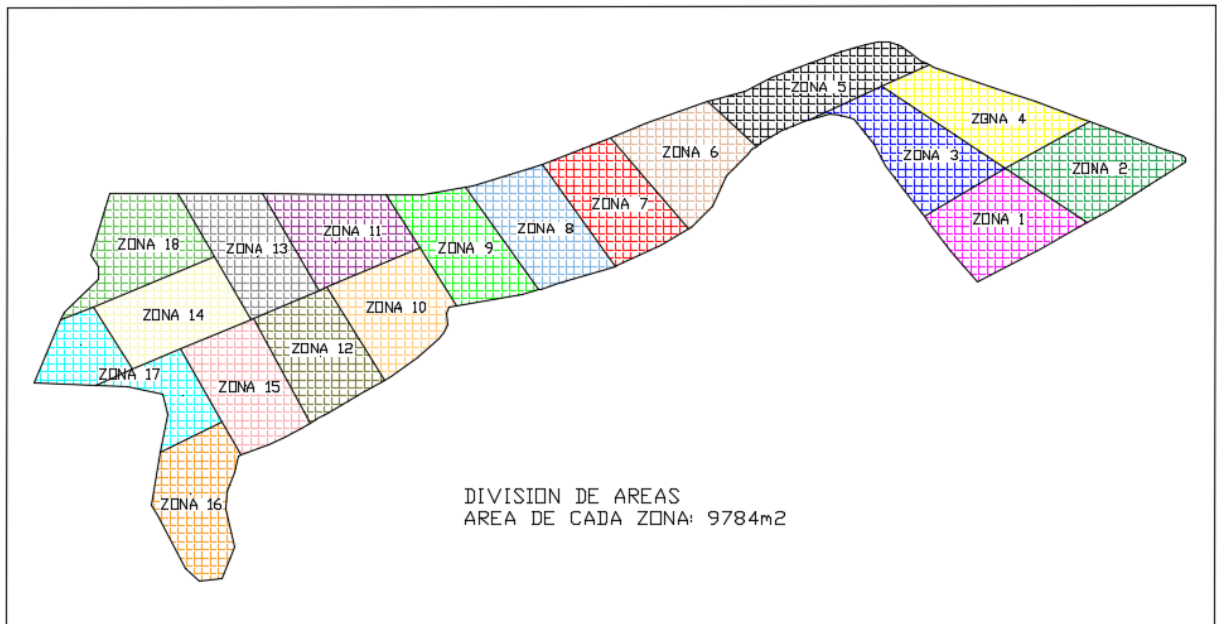


Figura 30. División de áreas de la propuesta de goteo

Elaborado con: AutoCAD 16

6.4.2 Diseño hidráulico

Al igual que en la propuesta de microaspersión, para la propuesta de goteo se realizó el diseño basado en la válvula clásica, sin embargo, por las variaciones del diseño agronómico, las dimensiones de la válvula clásica varían, la válvula clásica utilizada en este diseño se muestra en la Figura 31 y su plano completo en el Anexo 11.

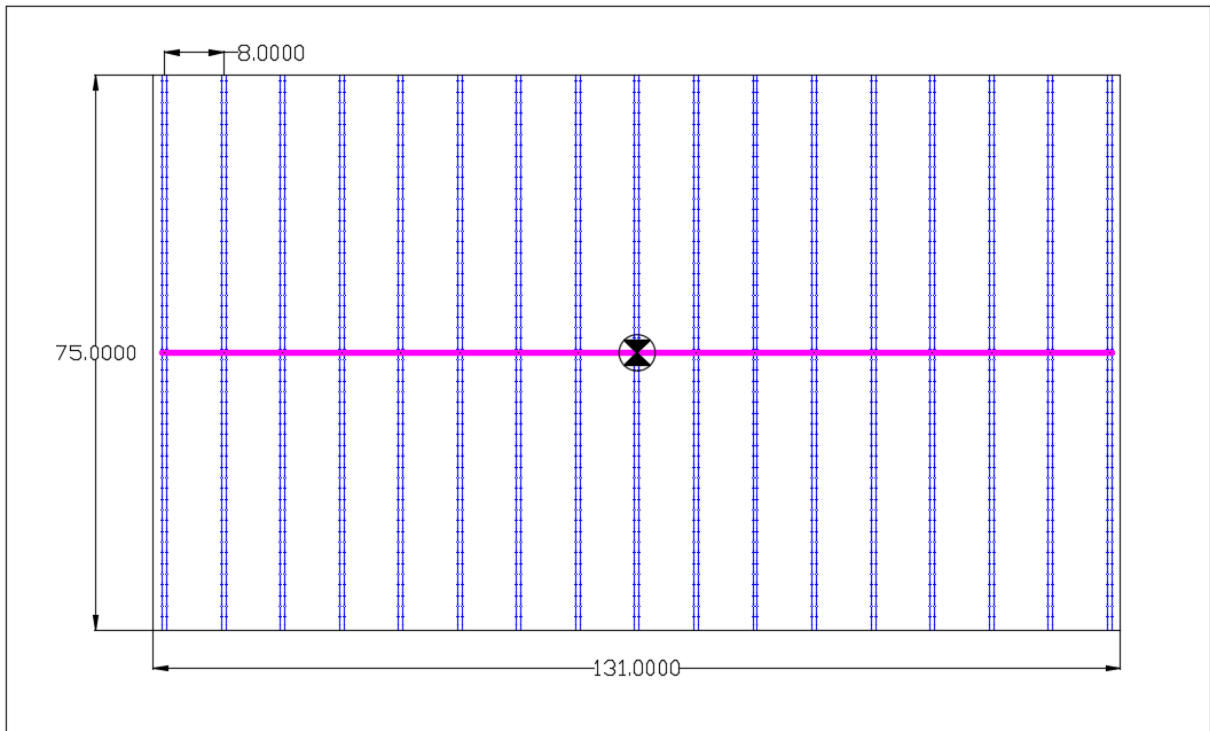


Figura 31. Válvula clásica para propuesta de goteo

Elaborado con: AutoCAD 16

El resto del diseño hidráulico de la propuesta de goteo es relativamente sencillo debido a que no se deben diseñar los laterales sino únicamente tomar en cuenta las pérdidas de presión generadas por estos, además al ser autocompensados permiten únicamente que se asegure la presión mínima de operación en el gotero más lejano, lo que quiere decir que no es necesario la obtención de pérdidas admisibles sino que a partir de esto se diseña la múltiple a conveniencia y se obtienen las pérdidas; en el Cuadro 23 se muestran los resultados de las pérdidas por fricción en los laterales.

Cuadro 23. Resultados del factor f de goteo

Presión máxima de operación	25,5 mca
Longitud máxima de lateral	356 m
Cantidad de goteros	355 goteros
Caudal del lateral	0,75 m ³ /h
Diámetro interno	15,2 mm
Factor f de goteo	0,5829

Teniendo el factor f se pueden calcular las pérdidas en el lateral de manera normal por lo que se procede a diseñar el resto del diseño hidráulico, en el Cuadro 24 se muestran los resultados de las pérdidas en el lateral.

Cuadro 24. Resultados de las pérdidas en el lateral

Caudal del lateral	0,1554 m ³ /h (0,08 m ³ /h para el cálculo)
Coficiente material	140
Diámetro interno	15,2 mm
Longitud del lateral	75 m (37,5 m para el cálculo)
Factor f	0,5829
Pérdidas en el lateral	0,043 mca

La múltiple se diseña con el método de velocidad admisible, los datos y resultados se muestran en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Resultados del diseño de la Múltiple

Velocidad Admisible	1,6 m/s
Caudal	2,64 m ³ /h (1,32 m ³ /h para el cálculo)
Longitud	131 m (65,5 m para el cálculo)
Factor f	0,3892
Diámetro Teórico	17.08 mm
Diámetro comercial elegido	23,5 mm [Diam nom. 3/4" SDR 17]
Velocidad en la Múltiple	0,84 m/s
Pérdidas en la múltiple	1,07 mca

Teniendo el diseño de la válvula clásica se procede a obtener la presión necesaria a la entrada de dicha válvula, los resultados se muestran en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Resultados de presión en la válvula

Presión mínima de operación	5,1 mca
Pérdidas en el lateral	0,043 mca
Pérdidas en la Múltiple	1,07 mca
Diferencia de altura	2 m subiendo
Presión en la entrada de la válvula	8,2 mca (11,7 psi)

Llenado del reservorio

Siendo el caudal del sistema 2,64 m³/h durante el tiempo de riego (0,61 h), el volumen requerido por cada zona es de 1,61 m³ y al tener 18 zonas, el volumen necesario en el reservorio debe ser 29 m³ para satisfacer la jornada de riego, esto implica que el caudal de la bomba de llenado debe

ser 2,42 m³/h (11 gpm) para llenar el tanque 12 horas, con una carga dinámica de aproximadamente 100 mca.

Diseño de la Principal

Para el diseño de la principal se utiliza el método de carga unitaria donde se obtienen los resultados mostrados en el Cuadro 27.

Cuadro 27. Resultados del diseño de la Principal

Longitud	1 122 m
Caudal	2,64 m ³ /h (12 gpm)
Diámetro teórico	33,7 mm
Diámetro comercial elegido	39,8 mm [Diam nom. 1 1/4" SDR 41]
Pérdidas en la Principal	11,5 mca
Velocidad en la Principal	0,6 m/s

Equipo de filtrado y válvula a la entrada de cada unidad de riego

Para goteo varía el micraje según el fabricante Jimten, se puede usar el mismo sistema de filtrado con una batería con dos filtros hidrociclónicos, pero con una unidad de filtrado distinta; 100 micras (150 mesh); la caída de presión es la misma (8 mca).

La válvula de entrada al lateral es exactamente igual a la utilizada en la propuesta de microaspersión, válvula de control hidráulico Bermat IR-215-MZ con una caída de presión de 0.5 mca.

Carga dinámica total

De la misma manera que en el diseño de microaspersión, la carga dinámica total es calculada tomando en cuenta las presiones de la válvula y distintas pérdidas en la tubería; estos resultados se muestran en el Cuadro 28.

Cuadro 28. Carga dinámica total de la propuesta de riego

Presión en la válvula de cada unidad	8,2 mca
Pérdidas secundarias	0,985 mca
Pérdidas en la Principal	11,5 mca
Diferencia de altura	12 m bajando
Equipo de filtrado	8 mca
Válvula de la unidad de riego	0,5 mca
Carga dinámica total	17,2 mca
Factor de seguridad	10 mca
Carga dinámica total definitiva	27,2 mca (39 psi)

Selección del equipo de bombeo para el riego

La bomba adecuada para el sistema es Barnes AD 2 50 HF con succión y descarga en 2 pulgadas (NPT), la curva de rendimiento de dicha bomba se encuentra en la Figura 32 y su ficha técnica completa en el Anexo 2.

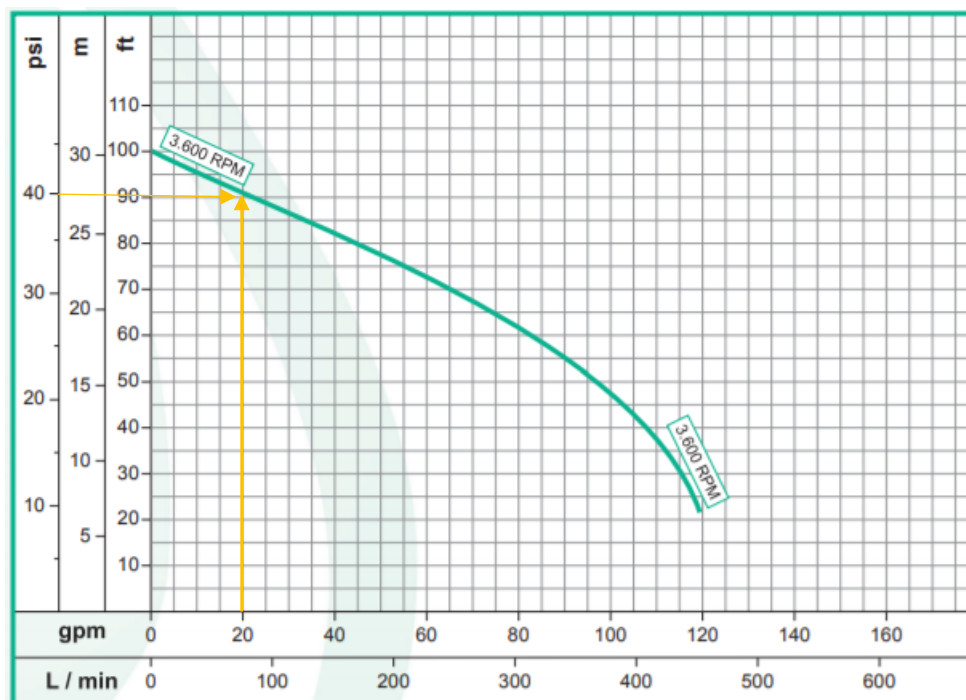


Figura 32. Curva de rendimiento bomba Barnes AD 2 50 HF

Selección del equipo de bombeo para el llenado del reservorio

Con la selección de bomba solar se eligió el sistema Photon SolarPak de 35gpm de 3 Hp de potencia (marca Franklin Electric), esta bomba está en la capacidad de llenar el reservorio en 4,3 horas; al no ser necesario ningún equipo de apoyo en el bombeo, esta propuesta se ajusta a las necesidades del cliente por lo que no es necesario recomendar una bomba eléctrica.

6.5 Modelación hidráulica con EPANET

Los resultados de la modelación hidráulica arrojan para el caso de la válvula más lejana lo mostrado en las Figuras 33 y 34 para microaspersión y goteo respectivamente.

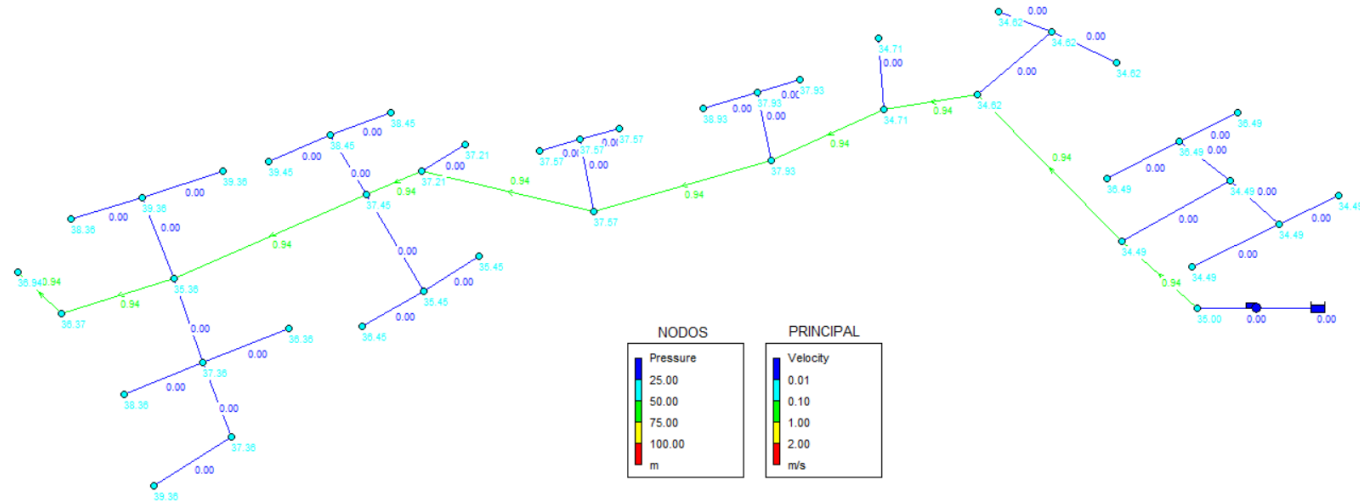


Figura 33. Modelación de la propuesta con microaspersión

Elaborado con: EPANET 2.0

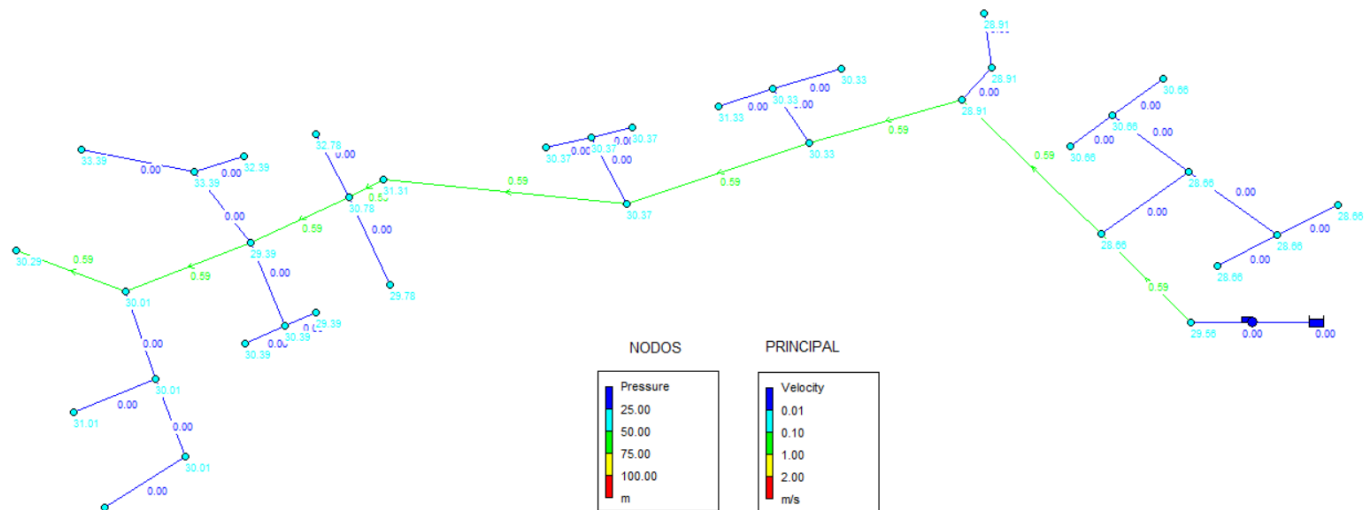


Figura 34. Modelación de la propuesta con goteo

Elaborado con: EPANET 2.0

En la propuesta de microaspersión, se puede apreciar en la Figura 33 que siendo la presión necesitada en la válvula de 32 mca, se tienen 37 mca, tomando en cuenta que, al estar esta válvula abierta, el resto se encuentran en una condición casi estática, entre las cuales las presiones más altas alcanzan los 39 mca; en la Figura 35 se muestra la modelación para el caso de la válvula más cercana de la propuesta de microaspersión.

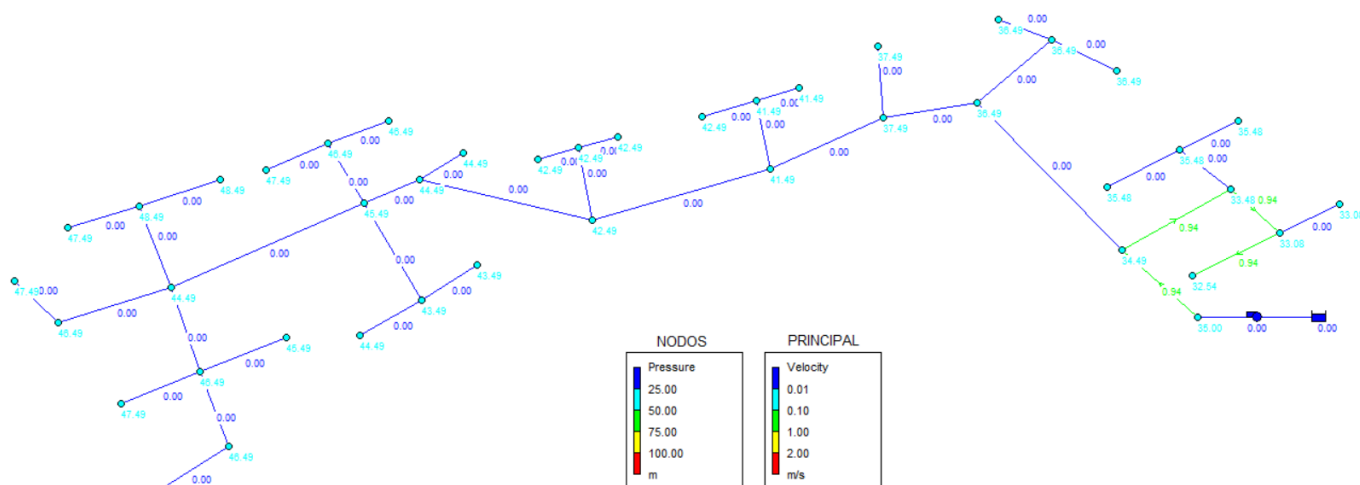


Figura 35. Modelación del funcionamiento de la válvula más cercana de la propuesta de microaspersión

Elaborado con: EPANET 2.0

De esta se puede apreciar que la presión de operación en la válvula más cercana es de 32,5 mca, sin embargo, teniendo esta válvula abierta, las presiones estáticas aumentan en el resto de válvulas hasta un orden de 48 mca, estas presiones no son problema pues tanto la tubería y las válvulas están diseñadas para soportar presiones aún mayores, en el caso de que las presiones operativas sobrepasen los 32 mca necesitados, se utiliza el piloto de presión que poseen las válvulas para regular la misma.

En el caso de la propuesta de goteo, como se aprecia en la Figura 34 se tiene que para la válvula más lejana estando abierta se tienen 30,3 mca cuando se necesitan 10 mca lo cual está alejado pero no es problema dado que se utilizan las mismas válvulas que en la propuesta de microaspersión; en la Figura 36 se aprecia la modelación de la propuesta de goteo para la válvula más cercana, ahí se aprecia que la presión de entrada a la válvula es de 27,6 mca, esto está bastante por encima de los 10 mca necesitados sin embargo al ser goteros autocompensados no hay problema siempre y cuando no sobrepase el límite máximo de presión todo esto sin tomar

en cuenta que el piloto de presión de la válvula permite regular la presión de la misma hasta el punto deseado.

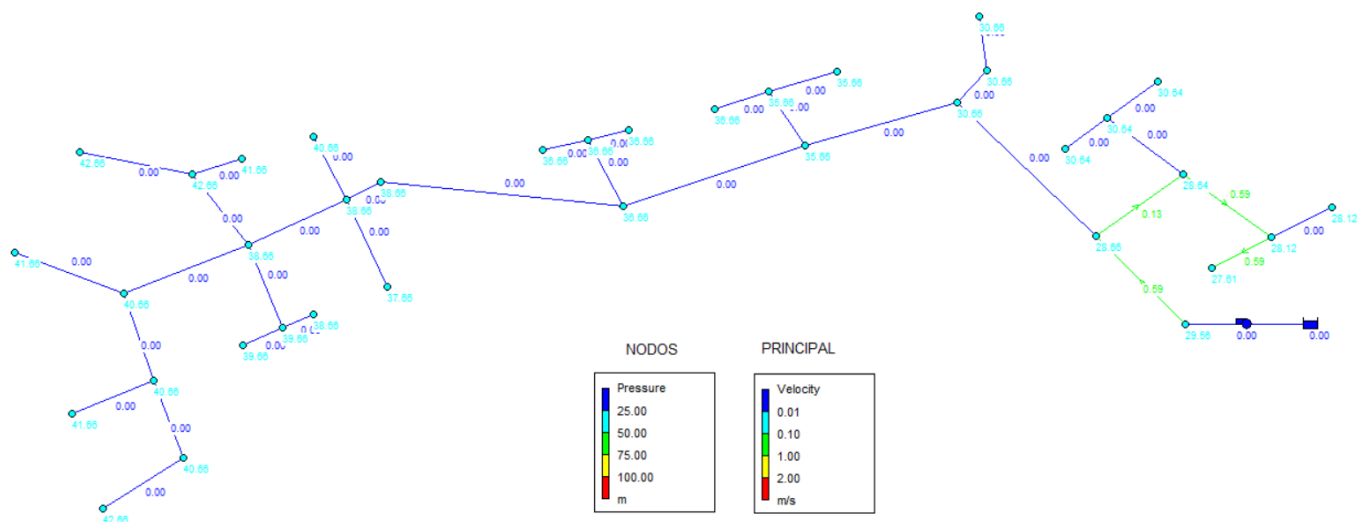


Figura 36. Modelación de la válvula más cercana de la propuesta de goteo

Elaborado con: EPANET 2.0

6.6 Análisis del golpe de Ariete

El análisis de golpe de ariete para cada propuesta consta de comparar la subida de presión con la presión de trabajo de la tubería elegida tanto en el punto más lejano como en el más cercano para asegurarse que en ningún momento se corre peligro de ruptura sabiendo que dicha presión para SDR 41 (el usado en ambas propuestas) es de 70 mca (100 psi).

Siguiendo la metodología del análisis del golpe de ariete propuesta en la sección 5.6 se obtuvieron los resultados mostrados en los cuadros 29 y 30 para microaspersión y goteo respectivamente mostrados a continuación:

Para la propuesta de microaspersión

Cuadro 29. Datos obtenidos del análisis de golpe de ariete para la propuesta de microaspersión

Propuesta Microaspersión	
Diámetro de tubería [mm]	84.6
Espesor de tubería [mm]	4.3
ϵ (PVC)[kg/m ²]	3x10 ⁸
K	33.33
Celeridad "a"	373.09
Tiempo de cierre de válvula [s]	7
Tramo más lejano	
Longitud del tramo más largo [m]	1155
Tiempo de oscilación completa [s]	6.2
Tipo de cierre	Lento
Presión en la válvula [mca]	32
Golpe de ariete [mca]	31.6
Presión total al cierre de válvula [mca]	63.6
Tramo más cercano	
Longitud del tramo más cercano [m]	266
Tiempo de oscilación completa [s]	1.43
Tipo de cierre	Lento
Presión en la válvula [mca]	32
Golpe de ariete [mca]	7.3
Presión total al cierre de válvula [mca]	39.3

Analizando los resultados obtenidos para la propuesta de microaspersión, se aprecia que el golpe de ariete en el tramo más lejano eleva la presión hasta 63.6 mca, es menor que los 70 mca establecidos como presión máxima de trabajo por lo que está seguro, en el tramo más corto el golpe de ariete alcanza los 7.3 mca lo cual eleva la presión a 39.3 mca, al ser menor que los 70 mca también se considera seguro.

Cuadro 30. Datos obtenidos del análisis de golpe de ariete para la propuesta de goteo

Propuesta Goteo	
Diámetro de tubería [mm]	39.8
Espesor de tubería [mm]	2.4
ϵ (PVC)[kg/m ²]	3x10 ⁸
K	33.33
Celeridad "a"	403.80
Tiempo de cierre de válvula [s]	7
Tramo más lejano	
Longitud del tramo más largo [m]	1122
Tiempo de oscilación completa [s]	5.56
Tipo de cierre	Lento
Presión en la válvula [mca]	10
Golpe de ariete [mca]	19.6
Presión total al cierre de válvula [mca]	29.6
Tramo más cercano	
Longitud del tramo más cercano [m]	281
Tiempo de oscilación completa [s]	1.39
Tipo de cierre	Lento
Presión en la válvula [mca]	10
Golpe de ariete [mca]	4.9
Presión total al cierre de válvula [mca]	14.9

Para la propuesta de goteo se obtienen los resultados de manera que en el tramo más lejano, el golpe de ariete es de 19,6 mca y eleva la presión a 29,6 mca por lo que al ser menor de 70 mca, se considera seguro, en el tramo más corto, se tiene que el golpe de ariete es de 4,9 mca, este eleva la presión a 14,9 mca, al ser menor que 70 mca, también se considera seguro; con este análisis queda comprobado que no ha peligro de ruptura por causa del golpe de ariete en ninguna de las propuestas.

6.7 Análisis económico

A continuación, el análisis económico para determinar que comportamiento deben tener los rendimientos de cosecha en un mediano plazo de 5 años para que la inversión inicial se pague por completo. La inversión total para el proyecto en cada propuesta se detalla adelante, para cada propuesta se hace una separación según la operación del sistema dado que la automatización genera un costo sensible para el agricultor y con esto se le presentan ambos escenarios para su elección; En los cuadros 31 y 32 los costos de la propuesta con Microaspersión y en el Cuadro 33 los costos de la propuesta de goteo.

Cuadro 31. Inversión para la propuesta de Microaspersión con operación manual

SUMA TOTAL DE COSTOS PARA PROPUESTA DE MICROASPERSIÓN SOLAR MAN		
DESCRIPCION	COSTO	DESCUENTO
TUBERÍA PVC Y ACCESORIOS	\$ 94,730	\$ 33,155.44
ARTICULOS DE RIEGO	\$ 7,681	\$ 6,375.47
BOMBEO INCLUYENDO SOLAR	\$ 16,791	\$ 13,936.19
TOTAL DEL PROYECTO	\$ 53,467.10	
Costo por Hectárea	\$ 3,037.90	

SUMA TOTAL DE COSTOS PARA PROPUESTA DE MICROASPERSIÓN ELECT MAN		
DESCRIPCION	COSTO	DESCUENTO
TUBERÍA PVC Y ACCESORIOS	\$ 94,730	\$ 33,155.44
ARTICULOS DE RIEGO	\$ 7,681	\$ 6,375.47
BOMBEO INCLUYENDO ELECTRICA	\$ 6,194	\$ 5,140.63
TOTAL DEL PROYECTO	\$ 44,671.54	
Costo por Hectárea	\$ 2,538.16	

Elaborado con: Excel

Cuadro 32. Inversión para la propuesta de Microaspersión con operación automática

SUMA TOTAL DE COSTOS PARA PROPUESTA DE MICROASPERSIÓN SOLAR AUTO		
DESCRIPCION	COSTO	DESCUENTO
TUBERÍA PVC Y ACCESORIOS	\$ 94,730	\$ 33,155.44
ARTICULOS DE RIEGO	\$ 7,681	\$ 6,375.47
AUTOMATIZACIÓN	\$ 26,816	\$ 11,891.42
BOMBEO INCLUYENDO SOLAR	\$ 16,791	\$ 13,936.19
TOTAL DEL PROYECTO	\$ 65,358.52	
Costo por Hectárea	\$ 3,713.55	

SUMA TOTAL DE COSTOS PARA PROPUESTA DE MICROASPERSIÓN ELECT AUTO		
DESCRIPCION	COSTO	DESCUENTO
TUBERÍA PVC Y ACCESORIOS	\$ 94,730	\$ 33,155.44
ARTICULOS DE RIEGO	\$ 7,681	\$ 6,375.47
AUTOMATIZACIÓN	\$ 26,816	\$ 11,891.42
BOMBEO INCLUYENDO ELECTRICA	\$ 6,194	\$ 5,140.63
TOTAL DEL PROYECTO	\$ 56,562.96	
Costo por Hectárea	\$ 3,213.80	

Elaborado con: Excel

Es notable que entre ambas resulta más económica la inversión con operación manual y dentro de esta la opción que incluye la bomba eléctrica para el llenado del reservorio; en los cuadros 37 y 38 se detalla la misma información para la propuesta de riego por goteo.

Cuadro 33. Inversión para la propuesta de Goteo con operación manual

SUMA TOTAL DE COSTOS PARA PROPUESTA DE GOTEO SOLAR MAN		
DESCRIPCION	COSTO	DESCUENTO
TUBERÍA PVC Y ACCESORIOS	\$ 16,466	\$ 5,763.20
ARTICULOS DE RIEGO	\$ 42,143	\$ 34,978.82
BOMBEO INCLUYENDO SOLAR	\$ 8,366	\$ 6,943.70
TOTAL DEL PROYECTO	\$ 47,685.71	
Costo por Hectárea	\$ 2,709.42	

SUMA TOTAL DE COSTOS PARA PROPUESTA DE GOTEO SOLAR AUTO		
DESCRIPCION	COSTO	DESCUENTO
TUBERÍA PVC Y ACCESORIOS	\$ 16,466	\$ 5,763.20
ARTICULOS DE RIEGO	\$ 42,143	\$ 34,978.82
AUTOMATIZACIÓN	\$ 26,816	\$ 11,891.42
BOMBEO INCLUYENDO SOLAR	\$ 8,366	\$ 6,943.70
TOTAL DEL PROYECTO	\$ 59,577.13	
Costo por Hectárea	\$ 3,385.06	

Elaborado con: Excel

En cuanto a inversión neta los precios de la propuesta de goteo son más bajos que la propuesta de microaspersión si se toma en cuenta únicamente la solar, sin embargo se debe tomar en cuenta que el precio podría subir si se quisiera enterrar la tubería debido a que la cantidad de zanja sería mucho mayor; Los primeros pasos del análisis económico requieren conocer los costos operativos del cultivo y su proyección para poder realizar el análisis a un mediano plazo de 5 años, basándose en los parámetros de costos de producción de Rambután definidos por (Arias & Calvo, 2014); además para conocer los ingresos de una plantación de Rambután se consultó el precio promedio del Rambután durante el año 2017 en la página web del Consejo Nacional de Producción (CNP, 2018); en la Figura 37 se aprecia los movimientos en el precio del kg de Rambután durante el 2017, el promedio de este año fue de 1380 colones.



Figura 37. Precios del kg de Rambután durante el 2017

Fuente: (CNP, 2018)

Según (Arias & Calvo, 2014), el costo productivo para una hectárea de Rambután con aproximadamente 100 árboles en la región Brunca tomando en cuenta los insumos y servicios mostrados en el Cuadro 34 es de 1.500.000 colones por hectárea.

Cuadro 34. Actividades e insumos tomados en cuenta para obtener el costo productivo por hectárea

ACTIVIDADES	INSUMOS
Rodajea	Fertilizante alto en potasio
Control de malezas	Fertilizante F. Completo
Chapias	Fertilizante Nitrogenado
Aplicación fertilizante	Insecticidas
Podas	Fungicida protector
Mantenimiento de Podas	Fungicida Sistémico
Aplicación de fumigantes	Insecticida traslaminar
Labores de cosecha	Insecticida Jabon Potásico
Transporte de insumos	Herbicida Quemante
Cajas	Adherente
Imprevistos (5%)	Aceite Agrícola
	Hormiguicida

Fuente: (Arias & Calvo, 2014)

Para la proyección de costos y ganancias el porcentaje anual utilizado el valor de la inflación para el año 2017 que fue de 2.57% según Rodríguez (2018); dicha proyección de costos y ganancias se muestran en los Cuadros 35 y 36 respectivamente, aunque nada asegura que en los próximos años esta proyección o aumente o disminuya, este valor de inflación es de los más altos de los últimos años por lo que puede tomarse como un valor crítico.

Cuadro 35. Costos proyectados a cinco años

Costos Proyectados a cinco años			Costo total
Año 1	₡ 1,500,000.00	\$ 2,627	₡26,400,000.00
Año 2	₡ 1,538,550.00	\$ 2,694	₡27,078,480.00
Año 3	₡ 1,578,090.74	\$ 2,764	₡27,774,396.94
Año 4	₡ 1,618,647.67	\$ 2,835	₡28,488,198.94
Año 5	₡ 1,660,246.91	\$ 2,908	₡29,220,345.65

Elaborado con: Excel

En el caso de las ganancias, se sabe que el precio de venta promedio para 2017 fue de 1380 colones sin embargo dado que es precio de venta al público implica que el precio de compra para el productor es menor en caso de incluir intermediarios, por esto se toma el precio de compra del kilogramo de Rambután como 600 colones.

Cuadro 36. Ganancias proyectadas a cinco años

Costo del Kg Proyectado a cinco años		Cantidad de Kg estimados
Año 1	₡ 600.00	₡ 114,892,800.00
Año 2	₡ 615.42	₡ 117,845,544.96
Año 3	₡ 631.24	₡ 120,874,175.47
Año 4	₡ 647.46	₡ 123,980,641.77
Año 5	₡ 664.10	₡ 127,166,944.27

Elaborado con: Excel

Con estas ganancias y costos proyectados, se realiza el análisis económico para distintos escenarios; por razones de costos, las propuestas se generan con el sistema de automatización por aparte dado que este genera un costo bastante significativo para el productor, en cuanto a ingresos y costos fijos se mantienen igual, para este proyecto la variación en los resultados se verá sobre todo en el porcentaje de aumento en la producción necesario por año para que el proyecto se pague y empiece a generar ganancias a un mediano plazo de 5 años.

En el Cuadro 37 se aprecian las depreciaciones tomadas en cuenta para el análisis económico además de la tasa de inflación utilizada; dichas depreciaciones fueron obtenidas del Reglamento a la Ley de Impuesto sobre la Renta (Ministerio de Hacienda, 2018)

Cuadro 37. Depreciaciones y otros valores utilizados en el análisis económico del proyecto

Impuesto	0.13	
Inflación	0.0257	
Depreciaciones		
Activo	Depreciación	Vida útil
Bomba	0.1	10
Motores	0.07	15
Equipo de irrigación	0.1	10
Filtros	0.1	10
Tubería	0.05	20
Paneles solares y centro de control	0.05	15

Delante se muestran los valores de VAN y TIR para las distintas propuestas, para la manera en que se realizó este análisis, el valor del TIR a los cinco años será de 0% debido que se desea saber únicamente cuanto debe incrementar la producción y por ende las ganancias para que se pague el proyecto, esto quiere decir que pasados cinco años, se habrá pagado la inversión inicial y a partir de ahí se generarán las ganancias, el VAN por otro lado al evaluar el valor del dinero a futuro si mostrara el valor del dinero respectivo inversión inicial pasados cinco años.

En los cuadros 38 y 39 se muestra el análisis para la propuesta de microaspersión manual con los bombes de llenado solar y eléctrico.

Cuadro 38. Análisis económico de la propuesta de Microaspersión con operación manual

Análisis Microaspersión Bombeo Solar con funcionamiento manual					
Costo Proyecto	₺	30,529,715			
Período de Recuperación [años]		5			
Costo Dividido	₺	6,105,943.04			
Ganancias Proyectadas en 5 años	Valor Porncientual de las ganancias	Ganancias necesarias	Flujo de caja		VAN
			-₺	30,529,715	
₺ 114,892,800	5.314	₺ 120,998,743	₺	6,105,943	₺ 2,219,622.44
₺ 117,845,545	5.181	₺ 123,951,488	₺	6,105,943	
₺ 120,874,175	5.051	₺ 126,980,119	₺	6,105,943	TIR
₺ 123,980,642	4.925	₺ 130,086,585	₺	6,105,943	
₺ 127,166,944	4.802	₺ 133,272,887	₺	6,105,943	0%

Análisis Microaspersión Bombeo Eléctrico con funcionamiento manual					
Costo Proyecto	₺	25,507,447			
Período de Recuperación [años]		5			
Costo Dividido	₺	5,101,489.44			
Ganancias Proyectadas en 5 años	Valor Porncientual de las ganancias	Ganancias necesarias	Flujo de caja		VAN
			-₺	25,507,447	
₺ 114,892,800	4.440	₺ 119,994,289	₺	5,101,489	₺ 1,854,485.11
₺ 117,845,545	4.329	₺ 122,947,034	₺	5,101,489	
₺ 120,874,175	4.220	₺ 125,975,665	₺	5,101,489	TIR
₺ 123,980,642	4.115	₺ 129,082,131	₺	5,101,489	
₺ 127,166,944	4.012	₺ 132,268,434	₺	5,101,489	0%

Elaborado con: Excel

Cuadro 39. Análisis económico de la propuesta de Microaspersión con operación automática

Análisis Microaspersión Bombeo Solar con funcionamiento automático					
Costo Proyecto	₡	37,319,716			
Período de Recuperación [años]		5			
Costo Dividido	₡	7,463,943.27			
Ganancias Proyectadas en 5 años	Valor Porncientual de las ganancias	Ganancias necesarias	Flujo de caja		
			-₡	37,319,716	VAN
₡ 114,892,800	6.496	₡ 122,356,743	₡	7,463,943	
₡ 117,845,545	6.334	₡ 125,309,488	₡	7,463,943	₡ 2,713,280
₡ 120,874,175	6.175	₡ 128,338,119	₡	7,463,943	TIR
₡ 123,980,642	6.020	₡ 131,444,585	₡	7,463,943	
₡ 127,166,944	5.869	₡ 134,630,888	₡	7,463,943	0%

Análisis Microaspersión Bombeo eléctrico con funcionamiento automático					
Costo Proyecto	₡	32,297,448			
Período de Recuperación [años]		5			
Costo Dividido	₡	6,459,489.67			
Ganancias Proyectadas en 5 años	Valor Porncientual de las ganancias	Ganancias necesarias	Flujo de caja		
			-₡	32,297,448	VAN
₡ 114,892,800	5.622	₡ 121,352,290	₡	6,459,490	
₡ 117,845,545	5.481	₡ 124,305,035	₡	6,459,490	₡ 2,348,143.14
₡ 120,874,175	5.344	₡ 127,333,665	₡	6,459,490	TIR
₡ 123,980,642	5.210	₡ 130,440,131	₡	6,459,490	
₡ 127,166,944	5.080	₡ 133,626,434	₡	6,459,490	0%

Elaborado con: Excel

Para que la inversión por la propuesta de microaspersión con operación manual se pague en cinco años, del Cuadro 38 se tiene que si es con bombeo solar, se debe tener un aumento anual de producción de 5% sobre las ganancias que se tenían previamente, siendo así al cerrar los cinco años, se pagaría el proyecto y además se tendría un valor actual neto de la inversión de 2.216.622,46 colones mientras que para la propuesta de microaspersión con operación manual y bombeo eléctrico los rendimientos deben aumentar aproximadamente 4% para pagar el proyecto y tener un valor actual neto de 1.854.485,11 colones, esta variación de debe a que la inversión con bombeo eléctrico es menor por lo que requiere menos aumento de producción para pagarse.

En el caso de las propuestas automáticas presentadas en el Cuadro 39 se tiene que con bombeo solar las ganancias deben subir aproximadamente un 6% anual para pagar el proyecto con un

valor actual neto de 2.713.280,00 colones y con bombeo eléctrico deben aumentar aproximadamente un 5,5% para pagar el proyecto en cinco años con un valor actual neto 2.348.143,14 colones, de la misma forma que con las propuestas manuales, la que incluye el bombeo eléctrico tiene un porcentaje de aumento menor que la que incluye el bombeo solar debido a que la inversión es menor.

Cuadro 40. Análisis económico de la propuesta de Goteo

Análisis Goteo Bombeo Solar con funcionamiento manual					
Costo Proyecto	₡	27,228,542			
Período de Recuperación [años]		5			
Costo Dividido	₡	5,445,708.47			
Ganancias Proyectadas en 5 años	Valor Porncental de las ganancias	Ganancias necesarias	Flujo de caja		
			-₡	27,228,542	VAN
₡ 114,892,800	4.740	₡ 120,338,508	₡	5,445,708	
₡ 117,845,545	4.621	₡ 123,291,253	₡	5,445,708	₡ 1,979,615.05
₡ 120,874,175	4.505	₡ 126,319,884	₡	5,445,708	
₡ 123,980,642	4.392	₡ 129,426,350	₡	5,445,708	TIR
₡ 127,166,944	4.282	₡ 132,612,653	₡	5,445,708	0%

Análisis Goteo Bombeo Solar con funcionamiento automático					
Costo Proyecto	₡	34,018,543			
Período de Recuperación [años]		5			
Costo Dividido	₡	6,803,708.69			
Ganancias Proyectadas en 5 años	Valor Porncental de las ganancias	Ganancias necesarias	Flujo de caja		
			-₡	34,018,543	VAN
₡ 114,892,800	5.922	₡ 121,696,509	₡	6,803,709	
₡ 117,845,545	5.773	₡ 124,649,254	₡	6,803,709	₡ 2,473,273.08
₡ 120,874,175	5.629	₡ 127,677,884	₡	6,803,709	
₡ 123,980,642	5.488	₡ 130,784,350	₡	6,803,709	TIR
₡ 127,166,944	5.350	₡ 133,970,653	₡	6,803,709	0%

Elaborado con: Excel

El análisis económico para la propuesta de goteo se tiene en el Cuadro 40, este hace la separación únicamente entre manual y automático con bombeo solar dado que en este diseño si era suficiente el bombeo solar para el llenado del reservorio; para el caso de la propuesta de goteo con bombeo solar, las ganancias de la plantación deben incrementarse en aproximadamente 4,5% por año para que al final de los cinco años, se pague el proyecto con un valor actual neto de 1.979.615,05 colones; la propuesta automática requiere que las ganancias aumenten

aproximadamente un 6% anual para que el proyecto se pague al terminar el quinto año con un valor actual neto de 2.473.273,08 colones.

A nivel económico se tiene que las inversiones son similares, la mayor variación la determina el incluir o no la automatización en el sistema lo que define como regla general que con automatización aumenta considerablemente el costo, además de esto en términos generales se tiene que las propuestas de goteo son más económicas que las de microaspersión donde además el hecho de incluir el bombeo secundario encarece el proyecto.

6.8 Análisis ambiental

De la matriz generada por el método de Evaluación de Impacto Ambiental de Arboleda mostrado en el Cuadro 47 se define el impacto del proyecto como Irrelevante porque así lo determinó la metodología en todas las clases negativas, además a nivel social la generación de empleo es completamente beneficiosa y el potencial agropecuario alcanza beneficios para la zona en general reforzando la producción de Rambután que puede fortalecer la producción nacional y potencialmente las exportaciones.

Cuadro 41. Matriz del Evaluación de Impacto Ambiental con el método de Arboleda

Descripción del impacto	Clase	Presencia	Duración	Evolución	Magnitud	Ca	Impacto ambiental
Ruidos y vibraciones	-1	0.8	0.2	0.4	0.01	-0.5024	Irrelevante
Descarga de acuíferos	-1	1	1	1	0.2	-4.4	Irrelevante
Generación de basura	-1	0.8	0.01	1	0.01	-0.08	Irrelevante
Generación de empleo	1	1	1	1	1	10	Beneficioso
Remoción de suelo	-1	1	0.01	0.5	0.4	-1.43	Irrelevante
Potencial agropecuario	1	0.4	1	0.2	0.3	1.368	Irrelevante

Elaborado con: Excel

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) Se diseñó un sistema de riego con microaspersión que utiliza el microaspersor Rain Bird Micro Bird Spinner con boquilla SP24-340 (Roja) con caudal de 130 L/h con diámetro mojado de 7,8 m a 3 bar de presión, con presión a la entrada de la válvula de 32,5 mca, diámetro del lateral en $\frac{3}{4}$ " SDR 17, diámetro de la múltiple en 2" SDR 41 y diámetro de la principal en 3" SDR 41; el sistema es activado por una bomba de combustión que proporciona un caudal de 19 m³/h a una presión de 52 mca.
- b) Se diseñó un sistema de riego por goteo que utiliza manguera autocompensante VERED 16 con goteros espaciados cada metro de caudal igual a 2,1 L/h con rango de presiones entre 5,1 y 25,5 mca, con presión a la entrada de la válvula de 8,5 mca; diámetro de múltiple en $\frac{3}{4}$ " SDR 17 y tubería principal en 1 $\frac{1}{4}$ " SDR41, activado por una bomba solar con caudal de 2,7 m³/h a aproximadamente 28 mca de carga.
- c) Como lo que se busca es un riego complementario, se realizó el diseño con el promedio de dosel arbóreo, esto permite que el sistema no sea tan robusto; la idea del riego complementario es que el productor puede manejar a placer la aplicación de agua adicional a que obtiene por las precipitaciones normales de la zona.
- d) Aunque la propuesta de goteo tiene ciertas ventajas como costo general menor y un volumen de reservorio menor, entre ambos sistemas resulta más viable de instalar el de microaspersión por los siguientes motivos:
 - a. Toda la tubería está enterrada lo cual aumenta la protección de la misma a la radiación solar y daños mecánicos por el paso de animales o maquinaria, alargando su vida útil.
 - b. La manguera de goteo al estar de manera superficial abarca bastante espacio lo cual puede limitar ciertas operaciones mientras que los microaspersores se encuentran uno por árbol.
 - c. El enterrar las líneas de goteo implica un doble zanjeo que puede aumentar el costo significativamente debido a las horas hombre dedicadas a dicha labor.
 - d. La superficialidad de la manguera de goteo hace que sea más susceptible a ser dañada si le pasan por encima personas, animales o máquinas además de estar siempre expuesta a la radiación en ciertas partes, lo cual puede reducir su vida útil.

- e) A nivel general económicamente resulta más accesible instalar la propuesta de goteo; siempre y cuando las líneas de goteo se coloquen de manera superficial, pero se mantiene la posición de elegir la propuesta de microaspersión debido a que como sistema sólido resulta mejor tener la instalación en PVC enterrado con un solo emisor por árbol.
- f) Ambientalmente el proyecto es bastante factible dado que en general se reduce a instalación lo cual tiene afectaciones mínimas y durante un período muy corto de tiempo, lo más invasivo al ambiente es la descarga del mando acuífero a través del bombeo que si bien es un poco más dañino al ambiente, la escala a la cual se realiza en este proyecto no lo es.
- g) Socialmente el proyecto es muy beneficioso porque genera trabajo en varios aspectos, desde la contratación de personal para chapia y demás actividades propias del cultivo, hasta la contratación de personas encargadas de manejar el producto final como limpiadores y empacadores, además, quienes estarán en el manejo post-cosecha como transportistas o vendedores tanto mayoritarios como minoritarios, se puede decir que se activa la agrocadena del Rambután y esto es un aspecto muy positivo en términos laborales y de seguridad alimenticia.
- h) En caso de elegir la propuesta de microaspersión, se recomienda al cliente instalar el sistema de succión del pozo con bomba eléctrica debido a que su costo es menor y la inversión en instalación también es considerablemente menor tomando en cuenta que no hay que poner la bomba de apoyo en el río cercano lo cual conlleva inversión en más tubería además de un pequeño embalse y probablemente una caseta para la bomba.
- i) En caso de elegir el sistema con bombeo eléctrico se recomienda instalar una acometida trifásica dado que arriba de 5 Hp es mejor por efectos de consumo eléctrico donde bombas de alto caballaje en acometida monofásica tienen un consumo mayor.
- j) Se recomienda que en algún futuro no se compre maquinaria con anchos de trabajo superiores a 6 metros en caso de instalar el sistema de riego por goteo.

- k) En caso de no elegir la opción con el sistema de automatización se recomienda hacer inversión en una motocicleta o un cuadraciclo que permita al personal movilizarse de manera más ágil dentro de la finca para los momentos donde requieran abrir o cerrar válvulas.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del Cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Arboleda, J. (2008). *Manual para la Evaluación Ambiental de Proyectos, Obras o Actividades*. Medellín, Colombia.
- Arias, M., & Calvo, I. (2014). *El cultivo Rambután o Mamón Chino*. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Arias, M., Velásquez, H., Mateus, D., Chaparro, H., & Orduz, J. (julio-diciembre de 2016). El Rambután (*Nephelium lappaceum*), frutal asiático con potencial para Colombia: avances de la investigación en el piedemonte del Meta. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 262-272.
- Calvo, L. (2005). *Métodos de Riego: Un Enfoque Práctico para el Diseño* (Primera ed.). San José: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- CNP. (06 de Mayo de 2018). *Consejo Nacional de Producción*. Obtenido de Sistema de Información de Mercados Agroalimentarios: <https://www.simacr.go.cr/index.php/informacion-de-mercados/precios-hortofruticolas/2014-04-01-18-29-29/pmensuales>
- Dean, R., Maglione, L., & Pianucci, A. (2010). *Aspectos Básicos del Diseño Hidráulico de un Sistema de Riego por Aspersión de Avance Frontal*. Río Cuarto, Argentina: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Diczbalis, Y., & Wicks, C. (Febrero de 2002). *Department of Primary Industry and Resources*. Obtenido de Australian Northern Territory Government: https://dpiir.nt.gov.au/__data/assets/pdf_file/0011/232958/724.pdf
- EPA. (Abril de 2018). *EPANET: Model for Water Distribution Piping Systems*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- FAO. (8 de Diciembre de 2001). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de Grupo Intergubernamental sobre el Banano y las frutas tropicales: <http://www.fao.org/docrep/MEETING/004/Y1939S.HTM>
- FAO. (Abril de 2018). *CLIMWAT*. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations: Databases & Software: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>
- FAO. (mayo de 2018). *CROPWAT*. Obtenido de Food and Agriculture Organization: Databases & Software.

- Fernández, R. (2010). *Manual de Riego para agricultores: Módulo 3. Riego por Aspersión*. Andalucía, España: Conserjería de Agricultura y Pesca.
- Fontanella, D., & Aumassanne, C. (s.f.). *Evapotranspiración de maíz, alfalfa y vid bajo riego, en la cuenca media del río Colorado*. La Pampa, Argentina: Unidad de Extensión y Desarrollo Territorial del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Fuentes, J. L. (s.f.). *Instalación de Riego por Goteo*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- Gomez, R. (2010). *Manual de Riego para agricultores: Módulo 4. Riego Localizado*. Andalucía, España: Junta de Andalucía. Conserjería de Agricultura y Pesca.
- Huerga, I., & Venturelli, L. (s.f.). *Energías Renovables. Su implementación en la Agricultura Familiar de la República Argentina*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- IRENA. (2017). *Renewable Power Generation Costs in 2017*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Jimten. (2018). *Catálogo 2018*. Alicante, España.
- Lahlou, M. (2009). *Water Hammer*. West Virginia, United States: National Environmental Services Center.
- Larraín, M. (2012). *Energías renovables no convencionales en la agricultura*. Lima: Gobierno de Chile, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.
- Laurent, J. P. (2011). *Competitividad de la Agrocadena de Fruta Fresca de Rambután (Nephelium lappaceum L.) en Costa Rica*. Ciudad Neily: Universidad Estatal a Distancia.
- Liotta, M. (2015). *Manual de capacitación: Riego por goteo*. San Juan, Argentina: Unidad para el Cambio Rural.
- MAG. (2007). *Plan Estratégico de la cadena productiva de Rambután*. San José: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Ministerio de Hacienda. (Mayo de 2018). *Ministerio de Hacienda*. Obtenido de eregulations: <https://costarica.eregulations.org/media/reglamento%20a%20la%20ley%207092%20del%20impuesto%20sobre%20la%20renta.pdf>
- Moreno, E. (2013). *Efectos de prácticas agronómicas en la calidad postcosecha de Rambután (Nephelium Lappaceum L.)*. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- NaanDanJain. (2013). *Instalación y Mantenimiento del sistema de Riego*. Israel: NaanDanJain Irrigation Ltd.

- Netafim. (2012). *Guías para el mantenimiento de sistemas de riego*. Netafim Corporation.
- Novedades Agrícolas. (2016). *Cabezal de Riego*. Obtenido de www.novedades-agricolas.com: <http://www.novedades-agricolas.com/es/riego/materiales-de-riego/cabezales-de-riego>
- Pachano, L., & Pérez, F. (s.f.). *Válvulas de control*. Táchira, Venezuela: Universidad Nacional Experimental de Táchira.
- Pizarro, F. (1990). *Riegos Localizados de Alta Frecuencia* (Segunda ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Programa Hidrológico Internacional (PHI). (2007). *Balance Hídrico Superficial de Costa Rica Período 1970 - 2002*. Montevideo: Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, La Ciencia y La Cultura (UNESCO).
- Rodríguez, O. (08 de Enero de 2018). Inflación de Costa Rica fue de 2.57% en el 2017. *La Nación*, págs. Obtenido de: <https://www.nacion.com/economia/politica-economica/inflacion-de-costa-rica-aumento-257-en-el-2017/367Q3ABVUNG5PLH7EWGI6ZVL3U/story/>.
- Ruiz, M. (2007). *Rambután. Guía Práctica para la exportación a EE.UU.* Managua: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Shock, C., & Welch, T. (Marzo de 2013). El riego por goteo: Una introducción. (E. S. Oregon State University, Ed.) *Técnicas para la Agricultura Sostenible*, 1-9.
- UCLM. (Mayo de 2018). *Universidad de Castilla-La Mancha*. Obtenido de Cátedra de Ingeniería Rural: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema10.PDF
- Vargas, A. (2003). Descripción Morfológica y Nutricional del Fruto de Rambután (*Nephelium Lappaceum*). *Agronomía Mesoamericana*, 201-206.

9 ANEXOS

Micro-Bird® Spinners

Micro-Bird II Spinners

The Micro-Bird II Spinner is a low-flow, micro-sprinkler ideal for applications of mature trees, greenhouses, nurseries, gardens, and landscapes.

- “Tall Bridge” and superior plastic design reduces wear and stalling.
- Unique spinner design provides a superior wetted pattern.
- “Two-Step” thread configuration to accommodate both large and small sizes of distribution tubing.
- Four color-coded nozzle bodies for easy identification.

- 340° pattern design provides uniform coverage without wetting tree trunks.
- Low 10° trajectory angle to fight wind drift.
- Filtration mesh hole size should be approximately 10 times smaller than nozzle size.



1 bar = approx. 100 kPa.

GENERAL NOTE: Performance data are obtained under ideal test conditions and may be adversely affected by wind, hydraulic conditions, and other factors.

*Flow and diameter are based on pressure at the base of the Micro-Bird Spinner and a 6 in. (15cm) riser height.

Performance Data*

MODEL (nominal nozzle diameter)	Filtration Requirements mesh (Microns)	340°			340°		
		PRES (bar)	Flow (gph)	Dia (ft)	PRES (bar)	Flow (l/h)	Dia (m)
SP12-340 Blue (0.99mm/0.039")	150 (105)	15	10.1	18	1.0	38.0	5.6
		20	11.6	19	1.5	45.0	6.0
		25	12.9	20	2.0	53.0	6.4
		30	14.1	21	2.5	58.0	6.6
SP16-340 Green (1.21mm/0.048")	120 (125)	15	15.1	20	1.0	57.0	6.0
		20	17.4	21	1.5	67.0	6.6
		25	19.4	22	2.0	80.2	7.0
		30	21.2	23	2.5	86.3	7.2
SP24-340 Red (1.45mm/0.057")	100 (150)	15	20.9	21	1.0	79.0	6.4
		20	24.1	23	1.5	95.0	7.0
		25	26.9	24	2.0	110.0	7.4
		30	29.3	24	2.5	118.0	7.6
SP30-340 Orange (1.73mm/0.068")	80 (180)	15	28.9	23	1.0	110.0	7.0
		20	33.4	24	1.5	129.0	7.6
		25	37.2	26	2.0	153.0	8.0
		30	40.5	26	2.5	164.0	8.2
		35	43.3	27	3.0	180.0	8.4
		40	45.8	27			

TRANSFER TUBE ASSEMBLY PRESSURE LOSS CHART

U.S. UNITS			METRIC UNITS		
Flow (gph)	Pressure Loss (psi)		Flow (l/h)	Pressure Loss (bar)	
	24"	36"		61cm	91cm
05	0.2	0.2	20	0.01	0.02
10	0.6	0.8	40	0.04	0.06
15	1.2	1.7	60	0.10	0.13
20	2.2	3.0	80	0.17	0.23
25	3.3	4.5	100	0.25	0.35
30	4.7	6.4	120	0.36	0.49
35	6.2	8.5	140	0.48	0.65

All components are protected by UV inhibitors and resist agricultural chemicals.

Anexo 2



www.barnes.com.co

Bombas Alta presión con motor a gasolina HG 3 130 HF

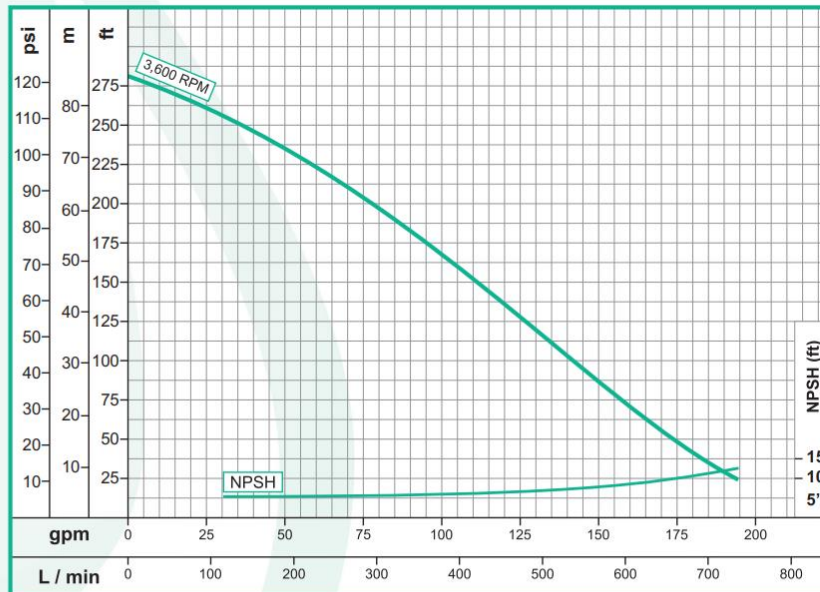
Características de la bomba							
Tipo de bomba	Acoplamiento		Tipo de impulsor				
Centrífuga	Monobloque		Cerrado, balanceado dinámicamente (ISO G6.3)				
Etapas		Cierre del eje			Temperatura máx. líquido		
1		Sello mecánico 1 1/4" Tipo 21			70°C (158°F) Continua		
Modelo	Ref.	Ø Succión	Ø Descarga	Ø Impulsor	Peso (kg)	H máx. (mca) *	Q máx. (gpm) **
HG 3 130 HF	1E0294	3" NPT	3" NPT	8,200"	60,0	86	194

Características del motor	
Alimentación	Marca
Gasolina	Hi-Force
Velocidad (rpm)	
3.600 (nominal)	
Potencia (hp)	Arranque
13,0	Retráctil

* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada. (mca= metros columna de agua).

** El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta. (gpm= galones por minuto).

Curva de rendimiento



Aplicaciones

Uso doméstico
Sector agrícola
Industria
Construcción

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Extracción de agua de pozos llanos
- Lavado a presión de maquinaria
- Lavado de establos
- Llenado de tanques elevados
- Riego por aspersión
- Sistemas de trabajo pesado y continuo



Anexo 3



www.barnes.com.co

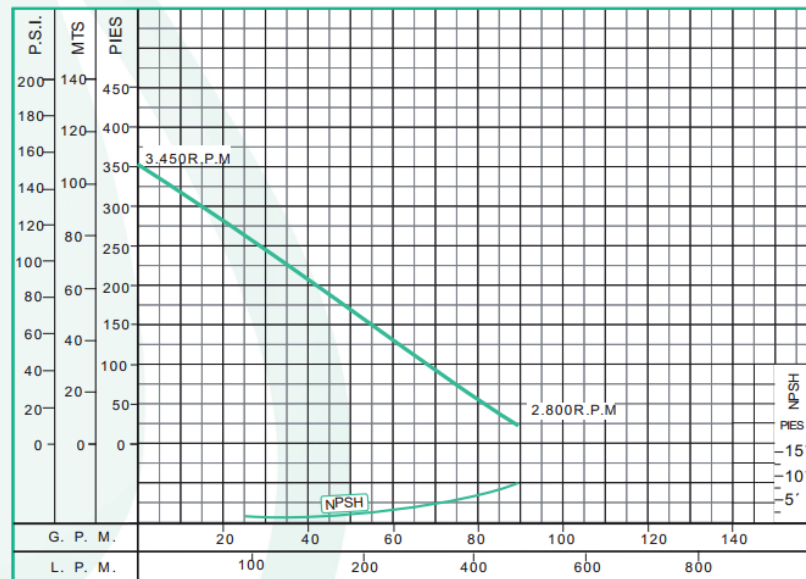
Bombas Alta presión
con motor a gasolina
HG 2 95-2 KL

Características de la bomba							
Tipo de bomba	Acoplamiento		Tipo de impulsor				
Centrífuga	Monobloque		Cerrado, balanceado dinámicamente (ISO G6.3)				
Etapas	Cierre del eje		Temperatura máx. líquido				
2	Sello mecánico 1 1/4 Tipo 21		70°C (158°F) Continua				
Modelo	Ref.	Ø Succión	Ø Descarga	Ø Impulsor	Peso (kg)	H máx. (mca) *	Q máx. (gpm) **
HG 2 95-2 KL	1E0545	2" NPT	2" NPT	7,125"	66,0	107	90

Características del motor	
Alimentación	Marca
Gasolina	Kohler
Velocidad (rpm)	
3.600 (nominal)	
Potencia (hp)	Arranque
9,5	Retráctil

* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada. (mca= metros columna de agua).
** El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta. (gpm= galones por minuto).

Curva de rendimiento



Aplicaciones

Uso doméstico
Sector agrícola
Industria
Construcción

- Aprovechamiento de aguas limpias
- Extracción de agua de pozos llanos
- Lavado a presión de maquinaria
- Lavado de establos
- Llenado de tanques elevados
- Riego por aspersión
- Sistemas de trabajo pesado y continuo

KOHLER
ENGINES

Anexo 4



Overview

OUTPUT REQUIREMENTS

Total Dynamic Head	90.00 m
Flow	25.00 USgpm
Thread Type	National Pipe Thread

LOCATION

City/State	Provincia de Puntarenas Naranjito
Country	Costa Rica
Latitude / Longitude	9.48 / -84.07

*Maximum allowable water temperature of 86F/30C. Consult factory for higher temperature ratings.

SIZING

Model	35SDSP-3.0HP
Order Code	90043530
Maximum Peak Flowrate	28.17 USgpm

MINIMUM ARRAY REQUIREMENTS

Vmpp	333 V
Wmpp	3,364 W

INDIVIDUAL PANEL CHARACTERISTICS

Performance Data Type	STC
Use Solar Tracker Array	Yes
Watts (Wmpp)	230 W
Volts (Vmpp)	600 V
Volts (Voc)	37.0 V
Recommended tilt angle (degrees)	9.48

SOLAR ARRAY CONFIGURATION

Panels Per Series String	10
# of Parallel Strings	2
Total # of Panels	20
Array Power (Wmpp)	3,680 W
Array Voltage (Vmpp)	5,580 V
Array Voltage (Voc)	352 V

* Recommended tilt angle is measured in degrees from horizontal

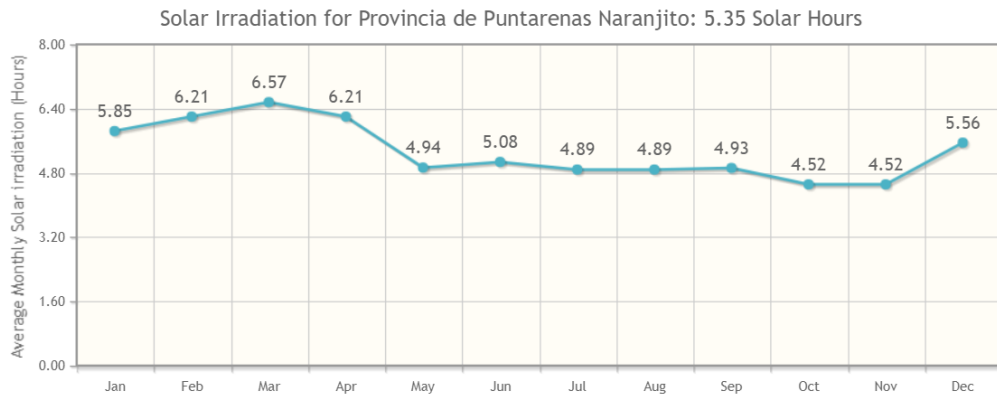
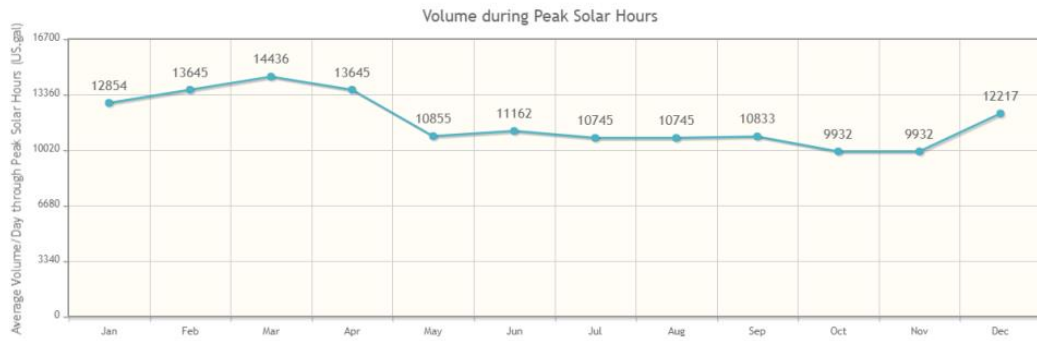
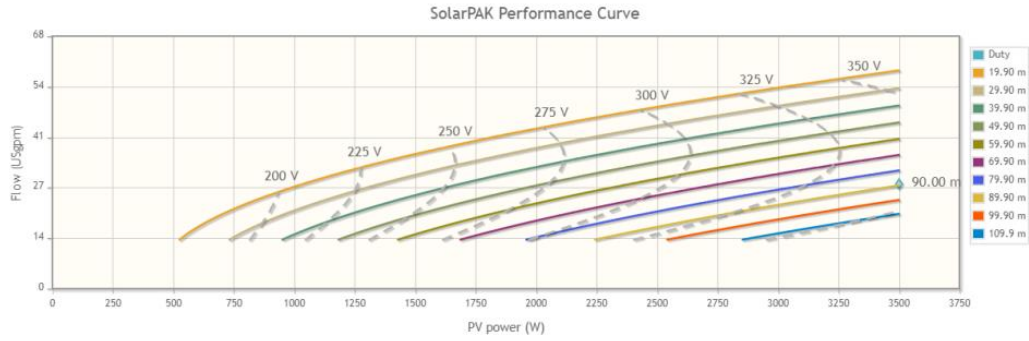
WIRING*

Wire Gauge - US (Metric)	10 (6mm ²)
--------------------------	------------------------

*Wire sizing and wire lengths must conform to local, national or government electrical wiring standards and regulations.

Please note the system performance reported can vary due to actual solar panel output based on site conditions. Factors like ambient temperature, local solar radiation, dust, and air mass will influence (decrease or increase) the wattage, voltage and currents according to the specific solar panel coefficients.

Graphs



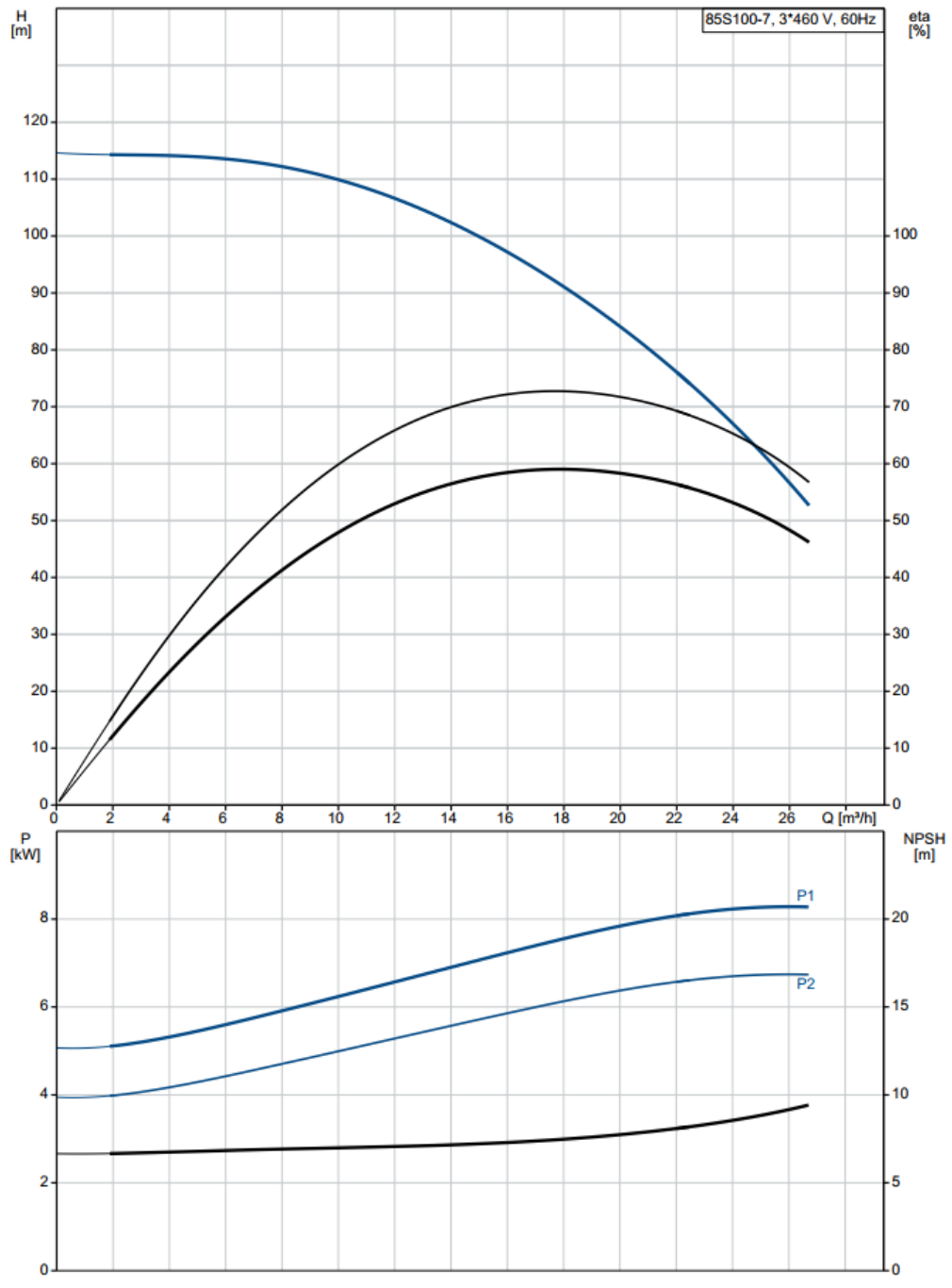
Anexo 5



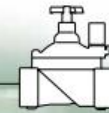
Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 19/05/2018

12B63607 85S100-7 60 Hz



BERMAD Irrigation



Main Models and Applications

200 Series

IR-205-MZ

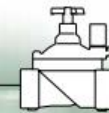
Infield Head-Works with Auto Metering Valve (AMV), Fertilizer Valve, Filter and 3 Hydraulic Control Valves with Flow Stem and Manual Selector

The Model IR-923-D, pressure reducing and sustaining AMV is manually set to supply preset water volume for irrigation. The three Plastic Hydraulic Control Valves, Model IR-205-MZ, allow:

- Easy manual control of individual irrigation set using the manual selector.
- Simple flow / pressure control by the manual flow stem.
- Optional connection to future automation system.



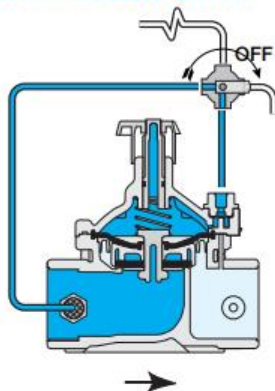
BERMAD Irrigation



Principle of Operation

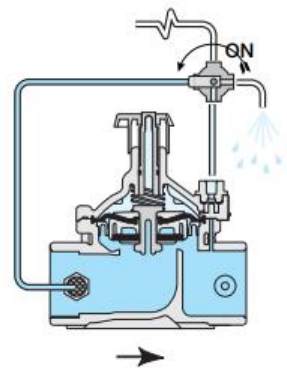
200 Series

Manual On-Off Control



Closed Position

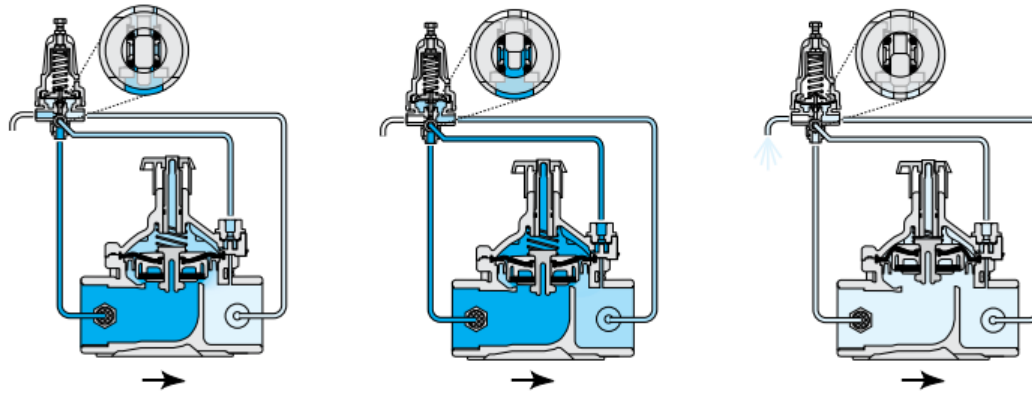
Line pressure applied to the control chamber of the valve creates a superior force that changes the valve position to close, providing drip tight sealing.



Open Position

Discharging the pressure in the control chamber to atmosphere or some other lower pressure zone causes the line pressure acting on the seal disc to change the valve position to open.

3-Way Modulating Modes, Pressure Reducing



Locked Position

When sensed pressure is equal to setting, the pilot shaft moves and blocks both the drain port and the pressure port. This locks the pressure in the control chamber, freezing the valve in its last position until conditions change.

Modulating Closed

The pilot switches upon pressure rise, blocking the drain port and opening the pressure port. This pressurizes the control chamber, forcing the valve to modulate closed.

Fully Open Position

When upstream pressure drops, the pilot blocks the pressure port and opens the drain port, venting the control chamber to the atmosphere. This fully opens the valve, minimizing head loss.

Technical Specifications

Available Patterns and Sizes:

Globe: DN: 20, 25, 40 & 50

Angle: DN: 40 & 50

Available End Connections:

BSP-T; NPT female threads

Pressure Rating: 10 bar

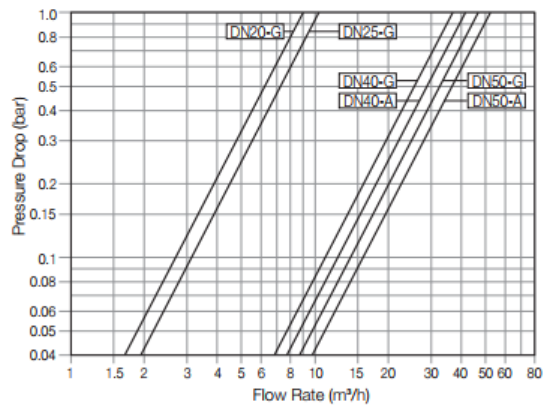
Operating Pressure Range: 0.7-10 bar

Standard Materials:

- Body and Cover: Nylon Reinforced
- Metal Parts: Stainless Steel
- Diaphragm: NBR [Buna-N]
- Seals: NBR [Buna-N]
- Spring: Stainless Steel
- Cover bolts: Stainless Steel

Flow Chart

2-Way circuit "Added Head Loss" (for "V" below 2 m/s): 0.3 bar



Pattern	Globe				Angle	
Sizes DN	20	25	40	50	40	50
KV (m³/h)	9	10.5	37	47	41	52

Anexo 7 – Plano de Curvas de Nivel

Anexo 8 – Plano división de áreas de la propuesta de microaspersión

Anexo 9 – Plano Válvula clásica de la propuesta de microaspersión

Anexo 10 – Plano de la división de áreas de la propuesta de goteo

Anexo 11 – Plano de la válvula clásica de la propuesta de goteo

Anexo 12 – Plano de la automatización del Proyecto