

**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Facultad de Construcciones
Departamento de Ingeniería Hidráulica**



TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO

Diseño del sistema de riego para el cultivo de flores en la Finca La Veguelana

Autor: Marcos Antonio Cordoves Zamora

Tutor: MSc. Ing. Antonio Martínez Suárez

Santa Clara

2017

"Año 59 de la Revolución."

AGRADECIMIENTOS

A Dios, nuestro creador.

A mi familia por su apoyo incondicional.

A mi tutor y su familia por tantos años de ayuda.

Al claustro de profesores de la Universidad Central "Marta Abreu de las Villas".

A todos.

Muchas Gracias

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el diseño del sistema de riego para el cultivo de flores en la finca La Veguelana, localizada en las inmediaciones del poblado de Falcón perteneciente a la provincia de Villa Clara. Se analizan las condiciones existentes en la zona de emplazamiento como: hidrología, geología, topografía, clima, suelos, entre otros elementos que determinan el régimen y la red de riego. Se realiza un estudio de los métodos de riego más apropiados para la explotación del sistema de riego estableciéndose la aspersión y el riego localizado como los más idóneos. Se diseñan las técnicas de riego por aspersión tradicional con un sistema semi-estacionario y por micro-aspersión con un sistema estacionario empleando los métodos de cálculos más apropiados, así como hojas de cálculo que permiten automatizar el trabajo. Al existir dos variantes de riego que garantizan las necesidades hídricas de los cultivos se pasa a un análisis técnico-económico para seleccionar la más factible. Las hojas de cálculo para el diseño de las técnicas de riego podrán ser empleados en otras localidades y con otros cultivos siempre y cuando se introduzcan los datos que caractericen las condiciones naturales y el cultivo a desarrollar.

ABSTRACT

In the present research project is developed the design of the irrigation system used to grow flowers in La Veguelana farm. This farm is located nearby the Falcon town in the province of Villa Clara. Different conditions specifically given in the research zone are analyzed, for example: hydrology, geology, topography, weather, soils and some other elements that determine the irrigation web and system. It is also developed a study of the most appropriate irrigation methods for the optimum use of the irrigation system. The aspersion and the focalized irrigation are identified as the ideal methods so far. The irrigation techniques by traditional aspersion are designed as a half-static system and consequently by micro-aspersion with a static system, using the most accurate calculation systems as well as excel sheets that make possible to automatize the work. Since there are two irrigation variants that are fully effective and cover all the crops hydric requirements, the final decision of the most suitable variant to use will depend on a technical and economic analysis. The excel sheets for the design of the irrigation techniques could be used in another places and on other crops as long as the respective data proper of the natural conditions and the crop to be grown, are fully introduced.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN.....	3
TABLA DE CONTENIDOS.....	5
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL CULTIVO DE FLORES EN EL MUNDO.....	10
1.1 La floricultura en el mundo.	10
1.2 El riego en el cultivo de flores.....	19
1.3 Selección del método de riego.	21
1.4 Riego por aspersión tradicional.....	26
1.5 Riego localizado	28
Conclusiones parciales.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 2: DISEÑO DE LAS TÉCNICAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN TRADICIONAL Y MICRO-ASPERSION	31
2.1 Características de la zona de estudio y de los cultivos.....	31
2.2 Selección de los métodos de riego para la explotación del sistema.....	36
2.3 Diseño de la técnica de riego por aspersión.	38
2.4 Diseño de la técnica de riego por micro-aspersión.	52
Conclusiones parciales:.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 3: CÁLCULO ECONÓMICO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.	67
3.1 Cálculo de los costos de las técnicas de riego.	67
3.2 Análisis de factibilidad entre ambas técnicas de riego.....	70
Conclusiones parciales.....	¡Error! Marcador no definido.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
Conclusiones	73
Recomendaciones.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXOS.....	75

INTRODUCCIÓN

A pesar del paso del tiempo, los avances tecnológicos y el desarrollo de la sociedad, el hombre sigue hechizado por la belleza y fragancia de las flores naturales. Tanto es así que mundialmente se han convertido en símbolos con los cuales el hombre transmite sus más hondos sentimientos. Desde júbilo y alegría incontenible, hasta dolor y penas insoportables, todo dentro de un capullo o un brote. Su comercialización ha ido en aumento en los últimos años y varios países rivalizan en su producción y venta. La ciencia aplicada a las técnicas de cultivo de las mismas ha permitido su desarrollo incluso en lugares donde las condiciones climatológicas no favorecen a su debido crecimiento por el déficit hídrico en el suelo, el cual no permite obtener rendimientos adecuados o, en casos extremos, que se pierdan los cultivos en su totalidad. Sin embargo, con la aplicación de técnicas de riego, se hace posible aportar el agua necesaria para las plantaciones.

Cuba, caracterizada por un clima tropical donde no existen grandes diferencias en la temperatura y mantiene una alta humedad relativa, posee superioridad respecto a otros países en cuanto a la variedad de flores de corte y plantas ornamentales que se pueden cultivar. A pesar de ello no se satisfacen las demandas nacionales por lo que la venta a la población y la prestación de servicios donde se empleen flores de corte se ve afectado por la no disponibilidad y baja calidad de las mismas. Esto se debe en gran medida a la falta de insumos, el empleo de materiales de propagación de baja calidad, el uso de tecnología de producción obsoleta, deficiente acopio, mala conservación, exceso de manipulación e inadecuada transportación. Esta insatisfacción ha motivado una dependencia de importaciones de flores de corte para suplir las demandas. (Fernández et al. 2008)

El municipio de Placetas, provincia Villa Clara, se ve afectado por esta situación. De ahí que la UP Servicios Comunes Placetas solicite la creación de un área para la siembra de flores y rehabilitar así los puntos de ventas en dicha localidad, además de

proveer para prestación de servicios donde se empleen flores finas en la Cayería Norte de Villa Clara.

Se propone el cultivo en la finca La Veguelana situada en las cercanías del poblado de Falcón. Dicha finca posee cerca de 5,6 ha de tierra cultivable y de ellas se selecciona 1.7 ha para el cultivo de flores, además de las obras que componen la infraestructura que serán necesarias construir para el adecuado cultivo, manejo y resguardo de los brotes. Variedades como el clavel chino, el clavel español, crisantemo, rosas y azucenas podrán ser cultivadas, las cuales compiten en belleza y fragancia.

Las condiciones climatológicas en la zona de estudio no permiten que los cultivos se desarrollen debidamente y produzcan un rendimiento adecuado de forma natural, por lo que se hace necesario realizar la forma de cultivo por regadío, aportando el agua necesaria de forma artificial a través de la técnica de riego que mejor se adecue al entorno y a las necesidades hídricas de las plantas.

Quien maneja el riego debe estar consciente de que tiene en sus manos el factor responsable del 90% de la producción y de la calidad de las cosechas, para ello debe estar permanentemente informado del estado de humedad y de la hidratación de las plantas. Solo así puede controlar cualquier riesgo de deshidratación de estas, lo cual traería como consecuencia deficiencias en el transporte y distribución de las sustancias nutritivas, con la consecuente disminución en crecimiento, desarrollo y producción.(Amizguita 1999)

Por otro lado, la competencia creciente por el agua, consecuencia del aumento de la demanda para distintos usos, conlleva un incremento de su coste y una creciente disminución de su disponibilidad(Pereira & Martín-Benito 2010a). Esto obliga a que su manejo sea lo más racional posible, buscando en todo tiempo que las cosechas sean productivas y tengan un consumo mínimo de agua. Las tecnologías y maquinarias agrícolas utilizadas en el riego se han modificado y desarrollado en aras de alcanzar este objetivo y economizar al máximo la labor de riego.

A la hora de diseñar un sistema de riego, se toman en consideración un número de factores como disponibilidad, características y precio del agua, capacidad de infiltración y almacenamiento del suelo, topografía, mano de obra y su costo, costo de la energía, exigencia de la tecnología, entre otro. Los mismos son los que determinan el empleo o no de una técnica. En el caso de que más de una técnica pueda ser implementada, se puede pasar a comparar características técnico-económicas para elegir entre una u otra.

Basándose en la situación existente se puede detectar el siguiente **problema de investigación**:

Las condiciones naturales existentes en la finca La Veguelana causan un déficit de humedad en el suelo, lo cual provoca que no se garanticen rendimientos aceptables en el cultivo de flores finas.

∞ **Hipótesis de la investigación.**

Si se aporta el agua necesaria al suelo aplicando una técnica de riego, entonces se garantizarán rendimientos aceptables en el cultivo de flores en la finca La Veguelana.

∞ **Objetivo General.**

Diseñar el sistema de riego más factible que aporte la humedad necesaria en el suelo para realizar el cultivo de flores en la finca La Veguelana.

∞ **Objetivos Específicos.**

- 1 Establecer las tendencias actuales de la floricultura en el mundo y las características de los métodos de riego más usados.
- 2 Diseñar el sistema de riego para el cultivo de flores.
- 3 Determinar la variante de mayor factibilidad evaluando factores técnico-económicos.

∞ **Resultados esperados.**

Obtener el sistema de riego más factible que sea capaz de mantener la humedad necesaria en el suelo para la obtención de altos rendimientos en el cultivo de flores finas.

∞ **Novedad Científica.**

Quedan programadas hojas de cálculo para obtener el régimen de riego de un cultivo determinado y el diseño de las técnicas de riego por aspersión y micro-aspersión.

La presente investigación estará estructurada de la siguiente forma:

Capítulo I: Revisión bibliográfica y estudio de antecedentes.

En el primer capítulo se desarrolla el tema de la floricultura, su desarrollo y estado actual en el ámbito internacional y nacional.

Capítulo II: Diseño de las técnicas de riego por aspersión tradicional y por micro-aspersión.

Capítulo III: Cálculo económico y análisis de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL CULTIVO DE FLORES EN EL MUNDO.

La floricultura es la disciplina de la horticultura orientada al cultivo de flores y plantas ornamentales en forma industrializada para uso decorativo. Los productores llamados floricultores, producen plantas para jardín, para su uso por jardineros, paisajistas, decoradores de interiores, venta de flores cortadas en floristerías o florerías, para su uso final en florero. Hay que entender a la floricultura como emprendimientos de producción masiva de plantas por diferencia con la jardinería. Estos últimos son quienes hacen uso de las producciones de los floricultores. Las empresas floricultoras son emprendimientos comerciales con distinto proceso de complejidad, entre las que se encuentran: las de tipo familiar de regular dimensión y las que alcanzan niveles de altas inversiones por parte de empresas de tipo corporativo (M. Caballero & Jiménez 1990).

Las principales flores de corte son: la rosa, el clavel, y el crisantemo, que rivalizan en color y perfume. La Rosa: "la reina de las flores", se desarrolla mejor en zonas templadas. El clavel crece normalmente en invernaderos, está favorecida por su variedad de colores y aroma, cultivándose durante todo el año. El crisantemo es símbolo de una vida larga y una de las más cultivadas de todo el mundo. Las plantas se cultivan a cielo abierto (plantas de exterior), en viveros cubiertos o invernaderos (plantas de interior). Holanda es el principal productor, exportador y controlador de las tecnologías y comercio mundial, tanto de flores de corte como de bulbos de flor (Venancio Sing et al. 1989).

1.1 La floricultura en el mundo.

La floricultura se ha convertido en un renglón importante en la economía de países dedicados a la exportación de flores de corte debido al aumento de su comercialización a nivel mundial, impulsado por la utilidad de las flores en la prestación de servicios.

La distribución de las áreas destinadas al cultivo de flores en el mundo para el 2005 a partir de los datos recogidos por la Aiph en el 2005, se representa en la Figura 1.1 donde se ve claramente que la producción mundial de flores está concentrada en

Asia/Pacífico, sin embargo los principales exportadores se encuentran en Europa y Suramérica.

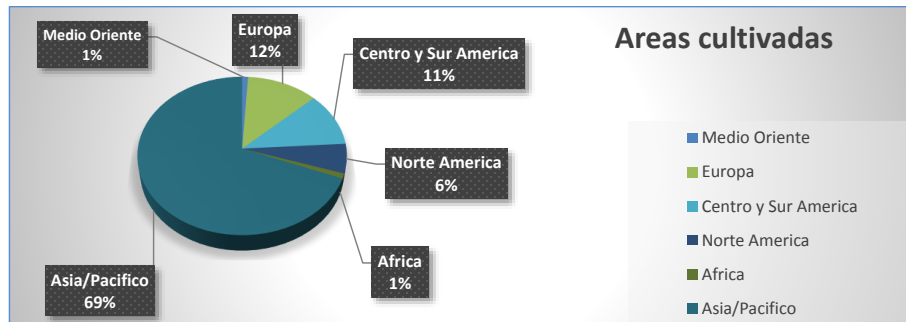


Figura 1.1 Porcentaje del total de áreas destinadas al cultivo de flores en el 2005. Fuente AIPH

El mercado internacional de flor cortada está fundamentalmente centrado en tres mercados consumidores: Estados Unidos, la Unión Europea y Japón, con un valor de facturación de 955, 6.500 y 3.800 millones de euros respectivamente. Cada uno de esos mercados produce un alto porcentaje de su demanda de flor cortada, pero además, importan una considerable cantidad desde una diversidad de países. Así los Estados Unidos importan el 59% de sus requerimientos, la UE el 10% y Japón solo el 6%. Los principales proveedores del mercado estadounidense son Colombia, Ecuador y los Países Bajos. Para la UE, los principales proveedores son Kenia, Israel y Colombia y para el mercado japonés, Tailandia, Colombia y los Países Bajos (Venancio Sing et al. 1989).

Varias naciones invierten una considerable suma de dinero y recursos para el desarrollo de este renglón agrícola, ampliando la producción anual con la adquisición de las más avanzadas técnicas de riego. Sin embargo, existe una concentración del comercio de flores en el mercado mundial provocado por el restringido número de países que encabezan la producción de flores de corte y el número de países importadores de las mismas.

Según datos del AIPH el 75% del volumen de flores exportado en todo el mundo está repartido entre los 6 mayores productores: Holanda, Colombia, Kenia, Ecuador, China e Israel (Ver figura 1.2).

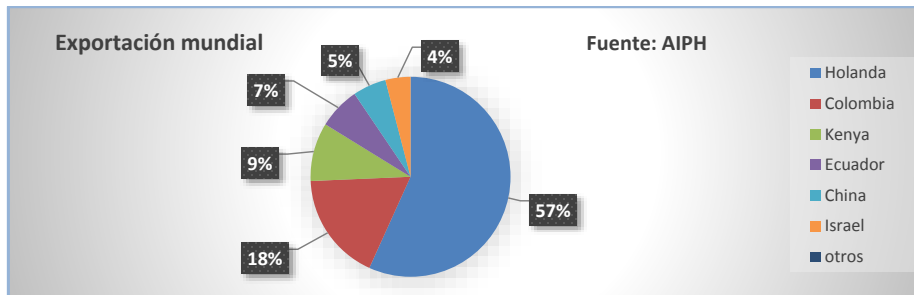


Figura 1.2 Exportación mundial de flores en el 2008. Fuente AIPH

Al mismo tiempo el 60% de las importaciones las realizan solo 6 países: Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, Holanda, Francia y Japón.

Los Estados Unidos importan el 59% de sus requerimientos, la UE el 10% y Japón solo el 6%. Los principales proveedores del mercado estadounidense son Colombia, Ecuador y los Países Bajos. Para la UE, los principales proveedores son Kenia, Israel y Colombia y para el mercado japonés, Tailandia, Colombia y los Países Bajos. (Ver Figura 1.3)

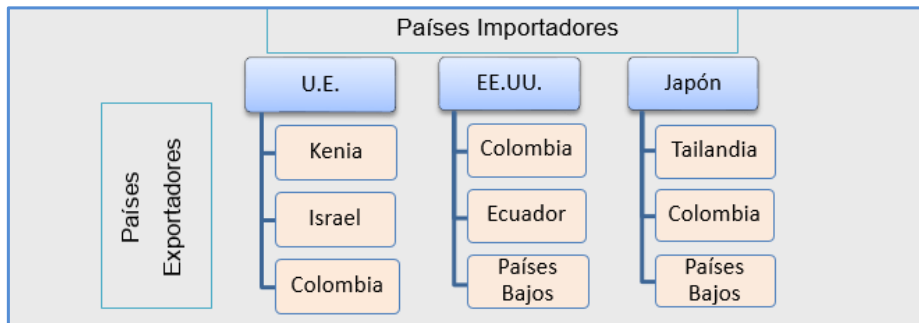


Figura 1.3 Principales países importadores y respectivos proveedores.

Los Países Bajos constituyen el mercado concentrador más importante del mundo, y registran más del 50 por ciento del total de las importaciones y el 85 por ciento de las exportaciones de flores de la Unión Europea (Venancio Sing et al. 1989).

En Centroamérica y Suramérica se destacan Colombia y Ecuador como los mayores productores-exportadores de flores de corte en la región. Colombia se ha convertido en el segundo país exportador y el principal proveedor a los mercados de Estados

Unidos, tomando una importancia relevante este sector de la economía colombiana como generadora de empleos. Las festividades que mayor cantidad de flores finas demandan son San Valentín, Pascua, Día de la Madre, Acción de Gracias y Navidad.

Principales flores especies y variedades producidas.

Las principales especies demandadas a nivel mundial son las rosas, claveles y crisantemos. La importación mundial de Rosas alcanzó el 24% del valor mundial importado, le sigue el Clavel con un 10,5% de participación, luego el Crisantemo con 10% y finalmente orquídeas con un 3,4%. La demanda de orquídea ha ido en aumento en los últimos años, reconociéndola como un producto exótico (Dole & Wilkins. 1999). La preferencia por las distintas especies varía dependiendo del mercado de destino, es así como en el Reino Unido prefieren los Claveles por sobre la Rosa, Suiza importa muy poco Clavel, Japón consume bastante orquídea en cambio en el Reino Unido prácticamente no las demandan, en Holanda, Alemania, Francia y Estados Unidos la Rosa ocupa un lugar preferencial. Las subastas de flores de Holanda son un buen indicador de las especies más vendidas en la Unión Europea. Las flores más y mejor vendidas en ese mercado son las rosas, seguidas por los crisantemos, tulipanes, liliium y gerbera.

La especie más demandada a escala mundial es la Rosa. Existen más de 300 variedades en general y el color rojo sigue siendo uno de los favoritos, aunque también se han impuesto colores como el amarillo, rosado, damasco y blanco. El segundo lugar que ocupa el Crisantemo, con la misma tendencia que las Rosas, manteniendo una demanda alta a escala mundial.

Los Tulipanes, ocupan el tercer lugar de venta en las subastas holandesas, los de mayor demanda han sido las variedades de Tulipanes de color amarillo, rojo y blanco. La participación de variedades "tradicionales" de Tulipanes no ha tenido variaciones, pero si hay algunas que desde 1998 han ido creciendo como por ejemplo las papagayo y los liliáceos.

En cuarto lugar se ubican los Liliium orientales, de gran aceptación y demanda pese a problemas de pos-cosecha y transporte, dentro de las variedades más comercializada

está el *Lilium oriental Stargazer*, el que ha disminuido su superficie aunque sigue siendo el más demandado (Dole & Wilkins. 1999).

Situación actual de la floricultura en Cuba y sus potencialidades.

Cuba posee tierras idóneas para el cultivo de flores tropicales, las de mayor aceptación en el mercado internacional debido a su fortaleza y su colorido, codiciado por las últimas tendencias de la decoración (Merencio 2014). La floricultura cubana fundamentalmente está caracterizada por la presencia de pequeños productores y se estima que el área dedicada a esta actividad se aproximan a las 1000 ha. No obstante, no se logra cubrir la demanda existente, motivado fundamentalmente por el uso de tecnologías obsoletas, uso de variedades y especies de bajo potencial de rendimiento, semilla de baja calidad, condiciones de producción y distribución poco eficientes así como escasez de insumos necesarios para lograr producciones de flores de calidad. Las condiciones existentes en nuestro país resultan favorables para el incremento de este renglón. Cuba posee una amplia variedad de suelos aptos para el cultivo de flores y presenta además un clima suave caracterizado por la ausencia de grandes diferencias térmicas y por una alta humedad relativa, lo cual permite la producción de flores durante todo el año. Además las especies cultivadas alcanzan su ciclo en un período más corto que en los países de clima templado (Ver figura 1.4), tal es el caso de los gladiolos, claveles y extraña rosa (Fernández et al. 2008).

Tabla 1.4 Ciclos de desarrollo del gladiolo, el clavel y la extraña rosa.

Especie	Duración del ciclo(días)	
	Europa	Cuba
Gladiolo	80-115	65-75
Clavel	120-210	90-100
Extraña rosa	120-135	90-110

En el 2010 se celebró el Primer Taller Nacional Florimat donde un grupo de especialistas del ramo intercambió sobre el cultivo, protección, utilización y comercialización de flores. Una de las conclusiones a las que llegaron fue que Cuba presenta el potencial necesario para exportar flores en un futuro próximo.

En el evento, celebrado en la ciudad de Matanzas, el experto Manuel García Caneiro afirmó que a los cubanos les falta mucho por avanzar en el cultivo de flores tropicales y criticó la importación de rosas que se dan bien en el país(Merencio 2014).

Principales especies de flores cultivadas en Cuba

Por lo general existe una amplia gama de variedades de flores cultivadas en nuestro país. Muchas de ellas han sido introducidas desde la época de la colonia para adornar los jardines y los hogares de personas que se dedicaron a su cuidado y desarrollo. Las especies se adaptan muy bien al clima y permiten obtener ejemplares de elevada belleza. Ejemplo de ello son las dalias y los gladiolos introducidos en Cuba en 1914, procedentes de Estados Unidos; y otras especies de gran aceptación como la Extraña rosa(Fernández et al. 2008).

La isla caribeña tiene una alta densidad en flora, siete veces mayor que España y 36 veces mayor que India y China. Con una adecuada tecnología en Cuba se pueden obtener además crisantemos, dalias y rosas propias de climas templados. En Cuba existen más de 300 especies autóctonas de orquídeas, la mayoría en la provincia de Pinar del Río. Allí existe una institución que agrupa una de las mayores colecciones en el mundo de ese tipo de flores.(Merencio 2014).

Las principales variedades son: Azucena, Boca de león, Cajigal, Clavel español, Clavel chino, Crisantemo, Dalia, Extraña Rosa, Gladiolo, Margarita del Japón, Margold, Maribel, Encaje de la Reina, Girasol, Alpinia, Anturio, Ave del paraíso, Heliconia, Rosa, Lirio antorcha, Orquídeas y Mariposa(Fernández et al. 2008).(Ver Figura 1.5)



Figura 1.5 Principales flores cultivadas en Cuba

Características de los cultivos a sembrar:*Azucena*

El nombre científico es *Polianthes tuberosa*, su siembra se realiza de forma directa y durante todo el año. El marco de plantación recomendado es de 0.90x0.20 m con una densidad de población de 40 000-50 000 plantas por hectáreas. Inicia su floración 60-80 días después de la plantación. Se propaga en forma de bulbo.

**Figura 1.6 A Ejemplares azucenas***Clavel español*

El nombre científico es *Dianthus caryophyllus*, su siembra se realiza en forma de trasplante y los meses de septiembre a mayo. El marco de plantación recomendado es de 0.90x0.25 m con una densidad de población de 40 500-45 000 plantas por hectáreas. Inicio su floración a los 60-65 días después de la plantación. Se propaga en semillas y esquejes.

**Figura 1.6 B Ejemplares del clavel español.***Clavel chino*

El nombre científico es *Dianthus sinensis*, su siembra se realiza en forma de trasplante y los meses de septiembre a mayo. El marco de plantación recomendado es de 0.90x0.25 m con una densidad de población de 40 500-45 000 plantas por hectáreas. Inicio su floración a los 20-25 días después de la plantación. Se propaga en semillas y esquejes



Figura 1.6 C Ejemplares del clavel chino

Crisantemo

El nombre científico es *Dendranthema grandiflora*, su siembra se realiza en forma de trasplante y los meses de mayo a agosto. El marco de plantación recomendado es de 0.90x0.25 m con una densidad de población de 40 500-45 000 plantas por hectáreas. Inicio su floración a los 120-150 días después de la plantación. Se propaga en esquejes e hijos.



Figura 1.6 D Ejemplares de crisantemos

Rosa

El nombre científico es *Rosa sp.*, su siembra se realiza en forma de trasplante y en todo el año. El marco de plantación recomendado es de 0.90x0.30 m con una densidad de población de 36 000-40 000 plantas por hectáreas. Inicio su floración a los 50-70 después del corte. Se propaga injertando la planta.



Figura 1.6 E Ejemplares de rosas.

En la Tabla 1.7 aparecen las recomendaciones para el cultivo y comercialización de flores del Instituto de investigaciones hortícolas "Liliana Dimitrova" perteneciente al Ministerio de Agricultura de Cuba.

Tabla 1.7 Características de las especias e flores a desarrollar.(Fernández et al. 2008)

Nombre común	Tipo de siembra	Época de siembra	Forma de propagación	Marco de plantación	Inicio de floración(Ddp)
Azucena	Directa	Todo el año	Bulbo	0.90x0.20	60-80
Clavel español	Trasplante	Sep.-may.	Semilla y esqueje	0.90x0.25	60-65
Clavel chino	Trasplante	Sep.-may.	Semilla y esqueje	0.90x0.25	20-25
Crisantemo	Trasplante	May.-ago.	Esquejes e hijos	0.90x0.25	120-150
Rosa	Trasplante	Todo el año	Planta injertada	0.90x0.30	50-70 Después del corte

1.2 El riego en el cultivo de flores.

Aunque en nuestro país prevalece un clima propicio para el desarrollo de flores, las altas temperaturas, extensos periodos de seca, la radiación solar y el régimen de vientos no permiten que el cultivo a secano de flores ornamentales produzca altos rendimientos. Esto se debe a que la humedad en el suelo disminuye a un ritmo tal que no permite que los cultivos sean capaces de absorber el agua con los nutrientes necesario para su desarrollo durante su ciclo vegetativo. Incluso en los años donde puedan ocurrir un número considerable de precipitaciones, se puede dar el caso que su distribución en el tiempo no sea la adecuada y las plantas no crezcan. Esto obliga al productor a aportar el agua de forma artificial utilizando alguna de las técnicas de riego que se vienen desarrollando en el sector de la agricultura.

Las capacidades de almacenar agua varían de un suelo a otro teniendo en cuenta las características intrínsecas de los mismos como textura, porosidad, tamaño de las

partículas, permeabilidad, entre otras. Asimismo las condiciones climatológicas como las lluvias, los vientos, la radiación solar y las temperaturas a las que se expone un suelo van a regir las pérdidas y los aumentos de humedad que va a sufrir. Otro factor importante en los egresos de humedad es el tipo de cultivo y su estado de desarrollo. En la práctica la determinación de los ingresos, egresos y el estado de humedad de un suelo en un momento determinado son de difícil determinación y para la realización de un proyecto de riego el proyectista se ve obligado a estimar estos valores de forma probabilística o usando métodos de cálculo. Se han establecido conceptos como régimen de riego, evapotranspiración y balance hídrico que sirven de herramienta para determinar las necesidades de riego de un cultivo y establecer los volúmenes de agua, número e intervalos de riego precisos.

Métodos de riego para el cultivo de flores

Es común referirse al riego en la parcela utilizando dos términos, métodos de riego y sistemas de riego; a veces, como sinónimos. Se hace aquí una distinción; se entiende por método de riego al conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar el agua a las parcelas regadas, y se entiende por sistema de riego al conjunto de equipamientos y técnicas que proporcionan esa aplicación siguiendo un método dado. El término sistemas de riego es también utilizado para referir el conjunto de equipamientos y técnicas de gestión que aseguran la captación del agua, su almacenamiento, transporte y distribución a los regantes, que son asuntos cuya amplitud aconsejó que no fueran tratados aquí. Se harán, sin embargo, algunas referencias a tales sistemas cuando sea oportuno.

Los métodos de riego, según (Pereira y Trout, 1999), pueden clasificarse del siguiente modo:

- Riego de superficie, o por gravedad, comprendiendo el riego por inundación, en canteros tradicionales y surcos cortos o en canteros con nivelado de precisión, el riego por sumersión en canteros para arroz, el riego por infiltración en surcos o en fajas y el riego por escurrentía libre.

- Riego por aspersión, con sistemas estáticos y disposición en cuadrícula, fija o móvil, con sistemas móviles de cañón o ala sobre carro tirada por enrollador o por cable, y sistemas de lateral móvil, pivotante o de desplazamiento lineal.
- Riego localizado, o micro riego, comprendiendo el riego por goteo, por difusores o borboteadores (“bubblers”), por tubos perforados o porosos, la micro-aspersión y el riego sub-superficial por tubos perforados y tubos porosos.
- Riego subterráneo, realizado por control de la profundidad de la capa freática, casi sin representación en la Península Ibérica, pero que, en Portugal, se practicaba al Sur de la Ría de Aveiro y en las riberas de la Póvoa de Varzim.

1.3 Selección del método de riego.

La selección del método de riego a implementar para el desarrollo de un cultivo está determinado por una serie factores del tipo naturales, geográficos, económicos e incluso sociales. Los mismos guían al proyectista a la hora de valorar la idoneidad de un sistema u otro. Puede ocurrir que en un mismo caso se pueden establecer varios tipos de riego que garantizan un adecuado desarrollo y rendimiento de la planta. Queda entonces pasar a una comparación técnico económica para establecer cuál sería la técnica optima y viable para llevar a cabo.

Los factores que se tienen en cuenta varían desde la calidad, volumen y precio del agua hasta las características de los suelos y las pendientes predominantes. Desde el punto de vista económico se tienen en cuenta el coste de la mano de obra, la energía y la tecnología así como la disponibilidad del capital. Según Pereira & Martín–Benito haciendo una correlación entre estos factores y las técnicas de riego se puede determinar la factibilidad de aplicar uno u otro método de riego (Ver Tabla 1.8)

Tabla 1.8 Correlación entre los factores y los métodos de riego.(Pereira & Martín-Benito 2010a)

Factores	Riego de superficie	de Aspersión	Riego localizado
Precio del agua	Bajo	Medio	Alto

Suministro del agua	Irregular	Regular	Continuo
Disponibilidad del agua	Abundante	Media	Limitada
Pureza del agua	No limitante	Sin sólidos	Elevada
Capacidad de infiltración del suelo	Baja a media	Media a alta	Cualquiera
Capacidad de almacenamiento del suelo	Alta	Media a baja	No limitante
Topografía	Plana y uniforme	Relieve suave	Irregular
Sensibilidad al déficit hídrico	Baja	Moderada	Alta
Valor de la producción	Bajo	Medio	Alto
Coste de la mano de obra	Bajo	Medio	Alto
Coste de la energía	Alto	Bajo	Moderado
Disponibilidad de capital	Baja	Media a alta	Alta
Exigencia en tecnología	Limitada	Media a alta	Elevada

Elementos que componen el régimen de riego.

Según el Manual Técnico para la Proyección de los Sistemas de Riego por Aspersión (Oliva et al. 1973) considera como régimen de riego al "conjunto de normas parciales, total e intervalo de riego, elementos que, en combinación con las labores agro-técnicas óptima provocan que siempre la humedad se encuentre entre los límites aceptados para el cultivo, asegurando de esta manera un alto rendimiento".

Por tanto, el régimen de riego nos muestra cuando debemos regar y que volumen de agua necesita la planta en particular, así como los intervalos de riego de los bloques de cada cultivo. Este está determinado por factores climatológicos, características de los suelos y las propiedades de los cultivos.

Dentro de los factores climatológicos se encuentran las lluvias, la temperatura ambiental, los vientos, vientos, la humedad relativa, la evaporación y la radiación solar.

Las características de los suelos más importantes son su textura, estructura, profundidad, densidades aparente y real, porosidad, capacidad de campo (CC), coeficiente de marchitez, el límite productivo (Lp), la permeabilidad y la velocidad de infiltración (V_i). En el caso de las propiedades de los cultivos tenemos el ciclo vegetativo, coeficiente de uso consuntivo (K), coeficiente de desarrollo (Kc), profundidad de las raíces y la transpiración (Oliva et al. 1973).

Normas de riego

Se llama norma de riego parcial neta a "la cantidad de agua que debe suministrarse a la unidad de área para elevar el contenido de humedad existente hasta capacidad de campo" (Oliva et al. 1973).

A la hora de realizar el riego se tiene en cuenta que la técnica de riego a utilizar no aporta la norma parcial neta en su totalidad, sino que por las características de la técnica usada el valor disminuye y es necesaria rectificar esta deficiencia. Para ello se establece la norma parcial bruta que no es más que la cantidad de agua que debe suministrarse a la unidad de área para elevar el contenido de humedad existente hasta capacidad de campo teniendo en cuenta la eficiencia de la técnica de riego.

Evapotranspiración o Uso Consuntivo

Para lograr un uso eficiente del agua de riego, el dato básico que debe conocerse es el consumo de agua del cultivo en cuestión para un período de tiempo determinado. Intentando cuantificar este consumo se define el término evapotranspiración (ET), como la cantidad de agua que el suelo pierde bien como consecuencia directa de la evaporación o bien debido a la transpiración de las plantas. Se emplea también el término evapotranspiración potencial (ETP), que sería la evapotranspiración del cultivo siempre que el agua disponible en el suelo no actuase como factor limitante, y vendría a representar el valor máximo de evapotranspiración bajo unas condiciones ambientales concretas (Badillo et al. 2009). En la figura 1.9 se muestra los ingresos egresos de humedad.

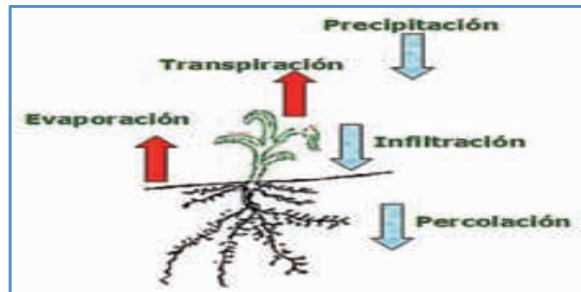


Figura 1.9 Formas de ingresos y egreso de humedad al suelo

Sin embargo, el valor de la evapotranspiración no es fácilmente interpretable, pues las cantidades evaporadas y transpiradas dependen en cierto grado de la proporción de humedad existente en el suelo.

Así pues, para definir un criterio más preciso se introdujo el concepto de evapotranspiración potencial, que corresponde a la doble hipótesis del mantenimiento del grado de humedad del suelo muy próximo su capacidad de retención y un desarrollo vegetativo óptimo. La importancia del conocimiento de la evapotranspiración ha dado origen a numerosas fórmulas para su determinación; estas fórmulas, todas empíricas, son generalmente, lo suficientemente aproximadas y dan la evapotranspiración potencial en función de factores más o menos numerosos, y, sobre todo, de elementos previsibles del clima (Oliva et al. 1973).

La tendencia actual es estudiar conjuntamente la evaporación de los suelos (problema físico) y el consumo de las plantas (problema agronómico) sin buscar lo que hay que atribuir a uno o al otro de los dos fenómenos, es decir, el consumo conjunto que se presenta en la práctica de los riegos y que se conoce como evapotranspiración. Se designará pues, por evapotranspiración o uso consuntivo a la suma conjunta de los volúmenes de agua utilizados por la planta y lo evaporados por la superficie del suelo (Oliva et al. 1973).

Uso práctico de la fórmula de Blaney y Criddle.

La mayor parte de las plantas cultivadas no cumplen con la condición de cubrir el 100% de la superficie del suelo, y, en consecuencia, la transpiración será menor que

la potencial, aunque la evaporación directa del suelo será mayor bajo estas condiciones. En consecuencia, este concepto llamado uso consuntivo (u.c.) es diferente al de la evapotranspiración potencial, y por ello los doctores Blaney y Criddle propusieron para su determinación, un método de tipo específico, en que se toman coeficientes para diferentes plantas en función de su evolución a lo largo de su ciclo vegetativo. Blaney y Criddle fijan límites probables de variación del coeficiente de uso consuntivo para las especies más importantes, pero dicho coeficiente es global, es decir, el valor medio del ciclo (Oliva et al. 1973).

Balance hídrico.

Con el balance hídrico se determinan las necesidades de riegos totales y mensuales a partir del déficit de agua tomando en cuenta la lluvia aprovechable. Para ello se localiza el mes donde la lluvia aprovechable sobrepase el uso consuntivo. Se determina el déficit de humedad restando los valores de lluvia aprovechable y reserva de humedad al valor de uso consuntivo del mes. Una vez hallado el déficit de humedad se propone el número de riegos a aplicar para satisfacer el déficit y la diferencia entre el riego y el déficit pasa al siguiente mes como reserva de humedad en el suelo. Sabiendo el número de riegos por mes se obtiene el número de riegos totales y, teniendo en consideración la norma parcial bruta y la eficiencia, se determina el volumen total de agua que se necesita para aplicar la técnica.

La eficiencia de la técnica de riego es determinante a la hora de cuantificar el agua necesaria. Si se aplica una técnica con una eficiencia baja a un cultivo, se pierda mayor cantidad de agua que si se aplica una técnica con índices de eficiencia mayores. Tal es el caso de la técnica de riego por aspersión tradicional y por micro-aspersión, donde se conoce por valores obtenidos en la práctica, que a la hora de regar un mismo cultivo con estas técnicas se llega a ahorrar la mitad del volumen requerido si se aplica micro-aspersión, atendiendo a que sus valores de eficiencia son mayores.

1.4 Riego por aspersión tradicional.

La aspersión como sistema de riego se viene aplicando desde 1900 pero su uso estaba limitado a huertos y jardines utilizando fundamentalmente la técnica de tuberías perforadas. No fue hasta después de la segunda guerra mundial que comenzó su utilización a escala mundial para diferentes cultivos y grandes áreas.(Ruíz & Martha 1998)

Se lleva el agua hasta la planta a través de una lluvia artificial creada por aspersores o surtidores que necesitan de bombeo para producir la carga necesaria para que estos funcionen, así como de conductoras a presión para llevar el agua hasta los campos. Son consumidores de energía eléctrica, la magnitud del consumo energético depende del tipo de cultivo que se riegue en el caso vegetales bajas presión poca energía, en pastos media presión consumo energético medio y en caña requieren alta presión alto consumo energético, en todos los casos el chorro de los aspersores es variable este debe ser de una magnitud tal que evite rotura de las hojas de los cultivos al impactarse con los mismos, requieren menos personal para la explotación que los sistemas de gravedad.

Más moderno se utilizan máquinas de riego con el objetivo de aumentar la productividad del riego, consisten en máquinas de avance frontal o circular que llevan colocados aspersores y micro-jet creando la lluvia artificial y regando los campos según avanzan, requieren de poca mano de obra, presiones medias de trabajo y de menos redes de tubería.(Badillo et al. 2009)

Componentes del sistema

El sistema de riego por aspersión más general, consta de las siguientes partes: aspersores, laterales, maestras, conductoras y equipos de bombeo.

El aspersor es el elemento más importante de un sistema de aspersión pues es el responsable de repartir uniformemente el agua en el terreno. De las características de presión y gasto del aspersor depende el diseño de todo el sistema de tuberías y la estación de bombeo.(Ruíz & Martha 1998)

Las maestras son las tuberías que abastecen de agua a los laterales, moviéndose estos últimos perpendicularmente a lo largo de ellas.

Las conductoras son las tuberías que trasladan el agua desde la fuente de abasto hasta las maestras. En algunos sistemas de riego por aspersión en los cuales se dispone de fuente de abastecimiento dentro de los campos no es necesario el uso de conductoras pues la descarga se hace directamente a la tubería maestra.(Ruíz & Reyes 1998)

Las principales ventajas que presenta esta técnica son que puede ser utilizado en suelos con grandes velocidades de infiltración y grandes pendientes, la distribución del agua en el terreno es bastante uniforme, alta eficiencia de aplicación (lo cual lo hace adecuado en regiones con limitaciones de agua), se puede operar en horas de la noche, los sistemas pueden ser instalados con mayor rapidez, permite aplicar normas de riego pequeñas y con gran frecuencia, permite la automatización y mecanización del sistema de riego, no interfiere las labores de mecanización agrícola (tuberías portátiles o soterradas), Se puede aplicar el fertilizante junto con el agua de riego (fertirrigación).(Ruíz & Reyes 1998)

Los sistemas de riego por aspersión se pueden dividir en móviles, semi-estacionarios y estacionarios dependiendo de si sus componentes o parte de ellos se pueden desplazar o no.

Sistema semi-estacionario

En este sistema son fijos, generalmente soterrados, todas las conductoras y maestras. El riego se lleva a cabo con laterales y aspersores móviles.

Se escoge este tipo de sistema porque presenta ventajas como menor cantidad de fuerza de trabajo, mayor eficiencia del sistema al aumentar la eficiencia en la conducción, mejor aprovechamiento del área de cultivo, no obstaculiza las labores agrícolas.

La experiencia con este tipo de sistemas ha demostrado que el trabajo de montaje y traslado de los laterales es relativamente difícil y que se dificulta la explotación en algunos cultivos de alta talla.

1.5 Riego localizado

Se denomina riego localizado, o micro-riego, a un riego a presión en el que el agua es aplicada a la parte de la parcela cultivada en la que se desarrollan las raíces de la planta.

La aplicación del agua en riego localizado, a semejanza del riego por aspersión, exige una red de tuberías principales, secundarias y terciarias, y ramales porta-emisores; normalmente, enterradas, a excepción de los ramales. Los dispositivos, a partir de los cuales se aplica el agua al suelo, y en la zona radicular, se denominan emisores, los cuales se colocan equidistantes en el lateral, o por grupos en el caso de algunos cultivos leñosos. (Pereira & Martín-Benito 2010b)

Variantes del riego localizado

Los sistemas de riego localizado se agrupan en cuatro categorías, a los que corresponden trazados y cálculos hidráulicos diferentes:

- Riego por goteo, donde el agua se aplica lentamente a la superficie del suelo a través de pequeños orificios emisores, llamados goteros, con caudales de 2 a 8 lh-1 (Pereira & Martín-Benito 2010b)
- Micro-aspersión, en el que el agua se pulveriza sobre la superficie del suelo, como en aspersión, pero produciendo áreas regadas pequeñas y localizadas, de 1 a 5 m de diámetro, siendo los emisores, en general, de caudales de 50 a 150 lh-1, denominados micro-aspersores, al tener algún elemento móvil.
- El riego a chorros, en el que pequeños chorros de agua se aplican a pequeñas balsillas a ras del suelo, adyacentes a cada árbol de una parcela de frutales, recurriendo a emisores especiales, designados difusores ("bubblers"), que impulsan el agua con caudales de 100 a 150 lh-1
- Riego sub-superficial, en el que el agua se aplica a través de emisores integrados en ramales colocados por debajo de la superficie del suelo, estando, normalmente, toda la red de tuberías enterradas; como alternativa, el agua puede ser aplicada mediante tubos porosos, pero esta variante tecnológica tiende a ser sustituida por tubos de doble cámara con orificios. (Pereira & Martín-Benito 2010b)

La similitud entre el riego localizado y el de aspersión radica en que, en los dos sistemas de riego, el agua se aplica a presión por medio de una red de tuberías y emisores espaciados regularmente.

No obstante, en riego localizado, en su variante por goteo, los espaciamientos, los caudales y las presiones de funcionamiento son muy inferiores, lo que conlleva a que, en general, la duración de la aplicación del agua y los intervalos entre riego son menores que en riego por aspersión.

Los sistemas de riego por goteo son, normalmente, sistemas de cobertura total. Las tuberías y los ramales permanecen en el terreno durante todo el periodo vegetativo de los cultivos, o de forma permanente en el caso de los cultivos leñosos y en algunos casos de riego sub-superficial.(Pereira & Martín-Benito 2010b)

Ventajas y desventajas del riego localizado.

Ventajas del riego localizado:

1. Ahorra agua pues minimiza las pérdidas por conducción y aplicación además en cultivos espaciados no humedece el área ocupada por la zona no radicular.
2. Ahorra energía comparada con la aspersión de carga media.
3. Disminuye la mano de obra necesaria para la explotación de los sistemas; por ser un sistema estacionario, un obrero puede atender hasta 120 ha, además permite de una forma relativamente fácil la automatización.
4. Aumenta el rendimiento del cultivo por unidad de área.
5. Permite llevar a cabo las labores de fertilización junto al riego y reduce las malas hierbas en las calles.
6. Puede ser utilizado en topografía accidentada.

Desventajas del riego localizado:

1. Requiere que se filtre el agua para evitar tupiciones en los emisores.
2. Requiere la presencia de personal calificado para dirigir y controlar la explotación del sistema de forma directa.

3. Algunos de los elementos del sistema pueden ser susceptibles al ataque de roedores.
4. Incremento de los costos de inversión inicial comparada con aspersión semi-estacionaria.
5. En las etapas de fomento de cultivos como cítricos y plátanos la uniformidad del riego de estos sistemas (Micro-jets y micro-aspersión) es afectada de forma apreciable por la influencia del viento. En los cultivos de porte bajo, debe tenerse presente la influencia de este factor climático durante todo su desarrollo.

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE LAS TÉCNICAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN TRADICIONAL Y MICRO-ASPERSION

2.1 Características de la zona de estudio y de los cultivos.

Micro-localización de la obra

El área de cultivo encuentra ubicada en la Finca La Veguelana, aledaña al poblado de Falcón, municipio Placetetas, provincia de Villa Clara, en las coordenadas X = 626694.6 Y= 282276.8. Se encuentra bordeado por el río Sagua la Chica al norte y al este, mientras que al oeste se encuentran terrenos de cultivo de dicha finca y al sur se encuentra la carretera central y el poblado de Falcón. (Ver Figura 2.1)

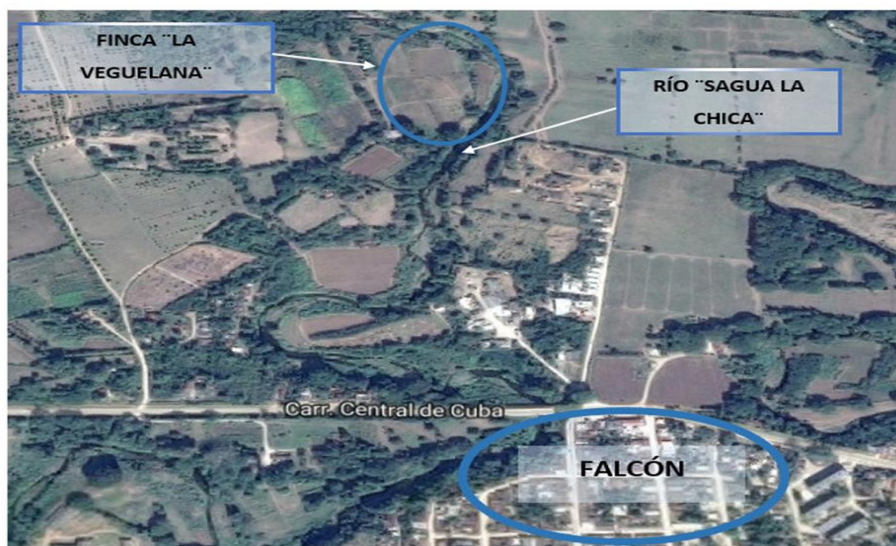


Figura 2.1 Micro-localización de la finca La Veguelana.

Topografía:

Se observa una zona llana de sur a norte con cotas desde 93.0 msnm hasta 87.5 msnm, con una pendiente del 0.3% y de oeste a este se presentan cotas desde 91.0 msnm a 86.5 msnm en el borde superior del barranco y el río en el río 79.00 msnm,

con una pendiente del 0.3 %. En la zona este del área prevista para el riego y yendo hacia el norte se encuentra el río Sagua La Chica, lo que provoca en el área de la finca a partir de la cota 86.5 msnm se presente un barranco de 6.5 m de profundidad hasta el nivel del agua en el río el cual está influenciado por el remanso de la presa Minerva, en el momento que se hizo el levantamiento topográfico el nivel del río fue de 79.73 msnm.

Geología:

En el mapa ingeniero geológico del Esquema Central de la provincia de Villa Clara se observa que en la zona dentro de la finca destinada al cultivo de flores, se encuentra la formación geológica clasificada como III Gg cuyas características Geomorfológicas son:

- Morfo-estructura: Montañosa.
- Forma del relieve: Alpinos Medios.
- Tipo de forma del relieve: Pre-montañoso diseccionada.
- Formación ingeniero geológico: Serpentinita.

Suelos:

Consultado el mapa de suelos del esquema de desarrollo hidráulico de la provincia de Villa Clara en escala 1:50 000, se observa que:

Las Clases y Subclases según el índice de Store es categoría III c.

Principales series de suelos incluidos según la clasificación morfológica de Barnett y Seliso:

- Santa Clara (ST.C).
- Chaparra (Cha) medios profundos, pedregosos.

Características generales:

- Textura superficial: Loam arcilloso.
- Topografía ondulada.
- Erodables, piedras en algunas áreas.
- Buen drenaje.

En las áreas aledañas a la finca en la zona oeste las tierras están dedicadas a pastos naturales y en el área de emplazamiento de la futura finca existe una pequeña área dedicada al cultivo de las flores y otra zona se dedica a cultivos varios.

Hidrología:

Lluvia promedio anual y del 75%.

La lluvia total promedio anual se toma del mapa isoyético nacional de una serie de 42 años comprendidos desde 1931 a 1972, se compara con la lluvia del mapa isoyético de Villa Clara elaborado por la EAHVC que indica para las coordenadas de ubicación de la finca una lluvia de 1450 mm, para el diseño se establece una lluvia total promedio anual de 1400 mm.

LL m = 1400 mm

Para la determinación de la Lluvia del 75% de probabilidad se emplea el gráfico del Manual Práctico de Hidráulica del MICONS, dando como resultado 1180 mm.

LL75% = 1180 mm

Se distribuye por meses la lluvia promedio y la del 75% de probabilidad de ocurrencia auxiliándose del manual práctico del MICONS. (Ver Tabla 2.2.)

Tabla 2.2 Distribución por meses de la Lluvia media Zona Falcón.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	
%	2.7	2.3	3	4.8	12.7	17.1	
mm	31.86	27.14	35.4	56.64	149.86	201.78	
mm en seca	31.86	27.14	35.4	56.64			
Mes	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
%	11.3	12.7	14.3	13.2	4	1.9	100
mm	133.34	149.86	168.74	155.76	47.2	22.42	1180
mm en seca					47.2	22.42	220.66

Evaporación:

La evaporación total anual se toma del mapa del Manual Práctico del MICONS, evaporación anual media desde la superficie libre del agua (evaporímetro de tanque clase A), tomándose como dato 2000 mm.

$Z_m = 2000$ mm

Para determinar la evaporación del 25% se toma un coeficiente de paso de 1.03.

$$Z_{25\%} = K_{25\%} \times Z_m \dots \dots \dots (2.1)$$

donde:

$Z_{25\%}$: evaporación del 25% de probabilidad. $K_{25\%}$: coeficiente de paso

Z_m : evaporación media anual. $Z_{25\%} = 2060$ mm

La evaporación del 25% de probabilidad de ocurrencia calculada es 2060 mm anual.

Para la distribución por mes, se tiene en cuenta la distribución mensual en porcentaje de la media anual del Manual Práctico del MICONS. (Ver tabla 2.3)

Tabla 2.3 Distribución de la evaporación del 25%

Mes	Ene.	Feb	Mar.	Abr.	May	Jun.	
%	6.8	7.3	9.8	11.3	10.6	8.2	
Lluvia (mm)	140.08	150.38	201.88	232.78	218.36	168.92	
Lluvia (mm) en seca	140.08	150.38	201.88	232.78			
mm día	4.5	5.4	6.5	7.8	7.0	5.6	
Mes	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
%	9.7	9.3	7.5	6.9	6.2	6.4	100
Lluvia (mm)	199.82	191.58	154.5	142.14	127.72	131.84	2060
Lluvia (mm) en seca					127.72	131.84	984.68
mm día	6.4	6.2	5.2	4.6	4.3	4.3	5.6

Porcentaje de horas-luz:

El porcentaje de horas luz por meses en la zona se extrae de la tabla III 17 del Manual de Riego por Aspersión del DAP. Latitud Norte 17° 30"

Tabla 2.4 Porcentaje de Horas-Luz en el día para cada mes.

Mes	Ene.	Feb	Mar.	Abr.	May	Jun.
% de horas luz	7,83	7,3	8,42	8,5	9,09	8,92
Mes	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
% de horas luz	8,16	8,90	8,27	9,21	7,66	7,74

Conjunto de instalaciones que integran la obra.

Para la correcta explotación de la técnica de riego y el manejo de las flores se necesitan una serie de instalaciones destinadas al cuidado de los componentes de la técnica de riego, resguardo de flores y químicos como los fertilizantes, y aquellos que sirven para las actividades de los operadores.

En total la obra se compone por el vial de acceso para conectar la carretera central con los campos de cultivo, edificio socio-administrativo, edificios de conservación y empaque de las flores, área de producción de fertilizantes orgánicos, cerca perimetral y la estación de bombeo.

Características de los cultivos.

Para el cultivo de flores, a grandes rasgos, no se necesitan grandes volúmenes de agua y fertilizantes para obtener buenas cosechas. Se recomienda que el suelo esté húmedo, sin variaciones bruscas de temperatura y con buen drenaje para evitar acumulación de agua en las raíces follaje que propician el desarrollo de hongos y parásitos, siendo estos perjudiciales para los cultivos. Las plantas presentan una profundidad de las raíces activas de 15-20 cm y el ancho de la cobertura del follaje está entre los 70 y 90 cm. El marco de plantación de diseño es de 0.2 x 0.5 m teniendo una densidad de plantas de 55 000-60 000 por hectárea.

A nivel de ante proyecto, cuando todavía no es necesario entrar en detalles sobre las demandas mensuales de agua, sino lo que interesa es el consumo total, puede utilizarse directamente el coeficiente global del cultivo para calcular la evapotranspiración en el método de Blaney-Criddle. Sin embargo para hallar el uso consuntivo mensual de un cultivo determinado, deben conocerse los coeficientes de

uso consultivo mensuales locales para cada una de las especies y variedades que interesen. (Oliva et al. 1973) En la tabla 2.5 se expresan los coeficientes de desarrollo.

Comentado [M1]: Tomado de:
Manual técnico para la proyección de sistemas de riego por
aspersión. Pag.40

Tabla 2.5 Coeficientes de desarrollo.

Mes	Ene.	Feb	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.
k_c	0.474	0.64	0.803	0.803	0.91	0.923	0.923
Mes	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Kc	
k_c	0.901	0.845	0.735	0.615	0.482	0.75	

2.2 Selección de los métodos de riego para la explotación del sistema

Teniendo en cuenta los factores establecidos en la tabla 1.8 se realiza un análisis de las condiciones que existen en la zona donde se desea establecer la siembra y se puede tener una pre-evaluación de la técnica o técnicas de riego que se pudieran aplicar.

En el caso de la zona de estudio el suelo posee una alta permeabilidad teniendo un valor medio de velocidad de infiltración de 0.55 mm/min, la capacidad de almacenamiento del suelo es de media a baja con una capacidad de campo (Cc) de 37,5%, la topografía es semi-ondulada con pendientes abruptas del 0.3% y la necesidad de mano de obra sería elevada para realizar las labores de campo.

Atendiendo a las características anteriores, si se aplicara el riego superficial tendría como deficiencia un alto consumo de agua, necesidad de labrado de un elevado número de surcos, elevado coste de la mano de obra, para obtener buena eficiencia se requieren trabajos de nivelación de buena calidad, pérdida de una parte del terreno por el trazado de los canales y los costos de mantenimiento son altos.

Por otra parte, el riego por aspersión presenta como limitante que el agua tendría que pasar por un proceso de eliminación de los sólidos si el grado de turbiedad fuera elevado, mayor costo de energía para abastecer los aspersores y las tuberías tendrían que ser retiradas para realizar las labores de preparación del suelo.

El riego localizado, a pesar de ahorrar un volumen mayor de agua, tendría como carencias el tratamiento necesario a aplicar al agua para obtener un alto nivel de pureza para impedir obstrucciones, una elevada inversión inicial y necesidad de un nivel mínimo de preparación de los operadores.

El riego superficial no se considera como una técnica viable para el cultivo de flores en la finca debido a las deficiencias que se muestran atendiendo a las características que presenta la zona en estudio. Esto no significa que no se pueda establecer este tipo de riego sino que existen otros métodos como la aspersión o el riego localizado que son capaces de garantizar el adecuado crecimiento de los cultivos con un costo total menor. Tabulando estas características queda como se muestra en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Tabla comparativa entre los métodos de riego.

Factores	Superficial	Aspersión	Localizado	Condiciones existentes
Precio del agua	Bajo	Medio	Alto	Bajo
Suministro del agua	Irregular	Regular	Continuo	Continuo
Disponibilidad del agua	Abundante	Media	Limitada	Limitado por efecto de la sequía.
Pureza del agua	No limitante	Sin sólidos	Elevada	Con sólidos disueltos
Capacidad de infiltración del suelo	Baja a media	Media a alta	Cualquiera	Alta Vf=33 mm/h
Capacidad de almacenamiento del suelo	Alta	Media a baja	No limitante	Media-baja
Topografía	Plana y uniforme	Relieve suave	Irregular	Ondulada
Sensibilidad al déficit hídrico	Baja	Moderada	Alta	Medio-alto

El riego por aspersión y el riego localizado se establecen como las técnicas a comparar para determinar cuál es la de menor costo.

2.7 Diseño de la técnica de riego por aspersión.

Normas de consumo

La norma parcial neta se determina como:

$$mn = 100H \times Pv \times (Cc - Lp) \dots (2.2)$$

Donde:

mn: Norma parcial neta H: Profundidad de la capa de suelo Lp: Límite productivo

mn=(mm³/ha) H= 0,2m Lp= 28,1 %

Pv: peso volumétrico Cc: Capacidad de campo

Pv=1.26 g/cm³ Cc=37.5 %

Se obtiene:

$$m_n = 238 \text{ m}^3/\text{ha} = 23.8 \text{ mm} = \underline{24 \text{ mm}}$$

Para determinar la norma parcial bruta (m_b) se necesita saber la eficiencia de la técnica de riego (E_a). En la figura 2.7 aparecen los valores indicativos de las eficiencias.

Figura 2.7 Valores indicativos de las eficiencias de aplicación para sistemas de riego bien proyectado y bien mantenido. Aspersión. (Anexo 2)

Técnica de riego	Eficiencia (%)
Sistemas estacionarios de cobertura total	65 – 85
Sistemas estacionarios desplazables manualmente	65 – 80
Laterales con ruedas	65 – 80
Cañón con enrollador o con cable	55 – 70
Laterales móviles, con pivote central	65 – 85

Figura 2.7 Valores indicativos de las eficiencias de aplicación para sistemas de riego bien proyectado y bien mantenido. Riego localizado. (Anexo 2)

Técnica de riego	Eficiencia (%)
LocalizadoGoteros, ≈ 3 emisores por planta (frutales)	85 – 95
Goteros, < 3 emisores por planta	80 – 90
Micro-aspersores y “difusores” (frutales)	85 – 95

Para el riego por aspersión se toma un valor de eficiencia de 75% y para el riego por micro-aspersión de 90%.

Se determina la norma parcial bruta como:

$$mb = \frac{mn}{Ea} \dots \dots \dots (2.3)$$

Donde:

mb: norma parcial bruta Ea: eficiencia de aplicación de la técnica de riego
mb=(mm) Ea=75%= 0,75

Se obtiene una $m_b = 32\text{mm} = \underline{320 \text{ m}^3/\text{ha}}$

Lluvia aprovechable

La práctica ha demostrado que no toda la lluvia que cae es aprovechada por las plantas sino una parte de ella. El ingeniero Savo establece un método para determinar que lamina de lluvia es aprovechada para el desarrollo de los cultivos. Anexo 2

El método de Savo se basa en determinar dos coeficientes:

M₁: Coeficiente de infiltración de la lluvia caída.

M₂: Coeficiente de almacenamiento de la lluvia caída.

La lluvia que infiltra en el terreno (LI_{INF}) se determina:

$$Llinf. = m1 x Llc \dots \dots \dots (2.4)$$

Dónde:

Ll_c : Cantidad total de lluvia en el mes m_1 : Depende de la pendiente del terreno, cantidad de lluvia caída y tipo de suelo.

Se observa que no se ha tenido en cuenta ni el cultivo, ni la humedad del suelo.

La lluvia que queda almacenada se determina como:

$$Lla = m_2 \times Llinf = m_1 \times m_2 \times Ll_c \dots (2.5)$$

Donde:

Lla : Lluvia aprovechable m_2 : Depende del suelo; lluvia caída, espesor de suelo (profundidad radical activa)

Coefficiente según suelos tipo aluviales, pendientes del terreno 0.3% (está en el rango de 0.01 a 0.05 ‰)

Tabla 2.8 Lluvia aprovechable. Método de Ing. Savo

Lluvia aprovechable. Método de Ing. Savo							
Mes	1	2	3	4	5	6	
Lla (mm)	22.94	19.54	25.49	35.12	77.93	104.93	
Mes	7	8	9	10	11	12	Total
Lla (mm)	69.34	77.93	87.74	81.00	29.26	16.14	647.35

Se obtiene como resultado una lluvia del 75 % de probabilidad de 1180 mm y se aprovechan 647.35 mm de lámina de lluvia caída.

Calculo de la Evapotranspiración o Uso Consuntivo por el método de Blaney-Criddle. (Ver Anexo 2)

La evapotranspiración o uso consuntivo, dependiendo del caso como se aborda en el primer capítulo, muestra cuales son las necesidades de agua que presenta el cultivo teniendo en cuenta factores que inciden de forma directa o indirecta en la pérdida de la humedad del suelo. En este trabajo utilizaremos el método propuesto por los doctores Blaney y Criddle que, a pesar de ser indirecto, resulta de fácil cálculo. Con la determinación de la evapotranspiración obtenemos los momentos en los que la planta

necesita ser regada y el volumen de agua a aplicar en cada riego cálculo se basa en calcular.

Se divide el ciclo vegetativo de la planta en meses y luego se pasa a determinar la evapotranspiración diaria. Primeramente se determina los valores valor de f y Kt:

$$f = p(8.12 + 0.457t) \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Kt = 0,03114t + 0.2396 \dots \dots \dots (2.7)$$

Donde:

p: por ciento de horas luz mensual (%)

t: temperatura media mensual (*c)

Luego:

$$u.c. = f \times Kt \times Kc \dots \dots \dots (2.8)$$

Donde:

u.c.: uso consuntivo(mm)

Kc: coeficiente de desarrollo

Corrección del u.c':

$$u.c.' = K' \times u.c. \dots \dots \dots (2.9)$$

Determinando K':

$$K' = \frac{Kc}{Kcc} \dots \dots \dots (2.10)$$

Luego:

$$Kcc = \frac{\sum u.c.}{\sum f} \dots \dots \dots (2.11)$$

Donde:

K': factor de corrección

Kc: coeficiente de desarrollo

Kc: coeficiente de

global

desarrollo calculado

$\sum u.c.$: suma de los u.c.

$\sum f$: suma de los f

Aplicado el método antes expuesto se obtienen los siguientes resultados:

Figura 2.9 Resultados del cálculo del Uso Consuntivo por el método de Blaney y Criddle.

Mes	U.C.' (mm)	Días del mes	U.C.' diario (mm)	Intervalo de riego (días)	Observaciones
Enero	64,88	31	2	11	Menor déficit de agua
Febrero	74,99	28	3	9	
Marzo	115,57	31	4	6	
Abril	123,33	30	4	6	
Mayo	159,44	31	5	5	
Junio	173,29	30	6	4	Menor intervalo de riego
Julio	165,83	31	5	5	
Agosto	177,43	31	6	4	Mayor déficit (Tc y Etpico)
Septiembre	144,86	30	5	5	
Octubre	136,06	31	4	5	
Noviembre	87,47	31	3	8	
Diciembre	61,99	31	2	12	Mayor intervalo de riego

Se observa que los valores de uso consuntivo varían en un rango de 2 a 6 mm de agua por día, el valor máximo de uso consuntivo es de 6 mm de agua por día y tiene lugar en los meses de junio y agosto, los intervalos de riego (T) oscilan entre 4 y 12 días, el intervalo de riego crítico (Tc) es de 4 días y tiene lugar en los meses de junio y agosto. El intervalo de riego (T) nos dice cuanto tiempo podemos demorarnos entre un riego y otro y después de diseñada la técnica de riego se comprueba que sea capaz de regar en un tiempo menor o igual al intervalo crítico (Tc). En este momento del diseño no se tiene en consideración el aporte de agua de las lluvias que pudieran ocurrir.

El cálculo de la técnica de riego se lleva a cabo con el valor pico de evapotranspiración (Etpico).

Balance hídrico. Norma neta 24 mm

Aplicando el método de balance hídrico para determinar las necesidades de riego se obtienen los resultados expresados en la tabla 2.10

Tabla 2.10 Resultados del balance hídrico

Mes	Déficit de agua (mm)	Norma de riego (mm)	Número de riegos
Ene.	20.69	24	1
Feb.	52.70	72	3
Mar.	70.78	72	3
Abr.	87.00	72	3
May.	96.51	72	3
Jun.	68.36	72	3
Jul.	92.86	96	4
Ago.	96.36	72	3
Sep.	81.48	72	3
Oct.	64.54	72	3
Nov.	50.75	72	3
Dic.	24.59	48	2
Total	806.62 mm	816.0 mm	34

Se observa que el volumen de agua aportado por las lluvias no satisfacen las necesidades de los cultivos por lo que es necesario realizar al menos un riego en cada mes, el mayor número de riego se realizara en el mes de julio con 4 riegos por lo que la técnica a utilizar tendrá que ser capaz realizarlos dentro de un rango de 30 días y se necesitan un total de 34 riegos durante todo el año.

Demanda de agua anual y mensual

La demanda de agua que necesita un cultivo se obtiene a partir de conocer la norma y el número de riegos que tendrá lugar en cada mes y la eficiencia de la técnica de riego a implementar.

La norma y el número de riego no dependen del tipo de técnica que se use, solo de las condiciones climatológicas, el suelo y el cultivo, por lo que el volumen de agua total

Conocidas las necesidades de agua de los cultivos y el momento de riego se pasa a calcular la técnica.

Selección del aspersor

Para seleccionar el aspersor son necesarios tener en cuenta dos aspectos importantes:

- Intensidad de la lluvia del emisor
- Tamaño de las gotas

Intensidad de la lluvia del aspersor

La intensidad de la lluvia que provoca el aspersor durante el riego no puede exceder la velocidad de infiltración del suelo. Esto evita el encharcamiento y el escurrimiento superficial. Siempre se tiene que cumplir que:

$$V_{inf} > I_{Apl.}$$

Según el estudio de suelo realizado la velocidad de infiltración del suelo es de 33 mm/h. La selección del aspersor será tal que la intensidad de la lluvia no sobrepasen este valor.

Características del aspersor

Caudal

$q = 4,78 \text{ l/s}$

Presión de trabajo

$H = 56\text{m}$

Diámetro

$D = 63,09 \text{ m}$

Intensidad de aplicación

$I_{apl.} = 30,7 \text{ mm/h}$

Tipo: Master

País de fabricación:

Reino Unido (UK)

Espaciamiento:

18 x 30 m

El marco de riego que nos propone el catálogo es de 18 x 30 m con una intensidad de aplicación de 30,7 mm/h. A efectos de las dimensiones de las parcelas de riego este marco de riego sufre alguna variación quedando 18 x 25 m. Recalculando la intensidad de aplicación:

$$Ae = Ea \times El \dots \dots \dots (2.13)$$

$$I_{apl.} = \left(\frac{3600 \times q}{Ae} \right) \times \mathcal{N} \dots \dots \dots (2.14)$$

Donde:

q_0 : caudal de un aspersor

\mathcal{N} : eficiencia de riego
(depende del clima)

Ae : área efectiva o área que riega un aspersor

Ea : espaciamiento entre aspersores

El : Espaciamiento entre laterales

Tomando:

$q = 4,78$ l/s

$Ea = 18$

$El = 25$

$\mathcal{N} = 0.80$

Obtenemos:

$I_{apl.} = 30,59$ mm/h

$$I_{apl.} = 30,59 \text{ mm/h} < V_{inf.} = 33 \text{ mm/h}$$

Este tipo de aspersor con un espaciamiento de 18 x 25 produce una lluvia con una intensidad de 30.59 mm/h. Partiendo de que la velocidad de infiltración del suelo es de 33 mm/h se asegura que no se ocasionen encharcamientos ni escurrimientos superficiales de agua durante el riego.

Cálculo del tamaño de las gotas

Para determinar el tamaño de las gotas se debe calcular el valor de K que no es más que la relación entre la presión de trabajo y el diámetro del aspersor.

$$K = \frac{H}{d/2} \dots \dots \dots (2.15)$$

Tomando:

H: presión de trabajo del aspersor D: diámetro del aspersor
 H=56 m D= 63.09 m

Obtenemos:

$K=1.78$

Luego:

$K < 1,5$ Gotas gruesas

$K > 1,5$ Gotas finas

$K > 1,5$: El aspersor produce gotas finas

Se observa que el aspersor cumple con los requisitos de no sobrepasar la velocidad de infiltración del suelo y no causar gotas gruesas que pudieran dañar los cultivos.

Tiempo de aplicación de la norma de riego

Se necesita saber cuánto tiempo es necesario para que con el aspersor seleccionado y en espaciamiento entre los mismos se pueda aplicar la norma de riego.

El tiempo de riego se determina como:

$$T_a = \frac{mb}{I_{apl.}} \dots \dots \dots (2.16)$$

Donde:

mb: Norma parcial bruta $I_{apl.}$: Intensidad de aplicación
 mb= 32mm $I_{apl.}$ =30.59 mm/h

Obtenemos:

$T_a = 62.76$ min

El tiempo de aplicación de la norma calculado es de 62.76 pero para dar un valor constructivo se asume 1h de riego.

Norma parcial bruta ajustada

$$mb = T_a \times I_{apl} \dots \dots \dots (2.17).$$

mb= 30,59mm

La norma de riego bruta es de 30.5 mm o 305 m³/ha.

Distribución de los caudales

Se colocan 3 aspersores por lateral con un caudal de 4,78 l/s. Se toman 5 l/s por aspersores y 15l/s por lateral. Trabajarán dos laterales simultáneamente por lo que el gasto será de 30 l/s siempre en todo el sistema. La carga de la bomba resulta a partir de este gasto. Se necesitan 6 h diarias de riego para aplicar la norma.

Pérdidas en el lateral de riego

En el lateral de riego ocurren pérdidas de carga causadas por la fricción entre las partículas de agua y la superficie de las tuberías. Estas pérdidas están en función del diámetro, tipo de material, longitud y caudal que pasa por las tuberías que componen el lateral. Para determinar las mismas se toman los valores expuestos en las tablas de pérdidas mexicanas de Gastón Mendoza con las siguientes características:

Diámetro interior:	Material:	Caudal:	Longitud de la tubería:
dint= 4'	Aluminio	Q=30 l/s	L=42m

Se obtiene:

Pérdidas en la tubería cada 1000 metros	Pérdidas en la tubería
Hf1000= 5,36m	Hftub= 0.25m

En la literatura actual referida al cálculo de dichas pérdidas se aconseja multiplicar las pérdidas debidas a la fricción por un coeficiente para tener en cuenta el acoplamiento de los aspersores. Este factor depende del número de aspersores y en la medida que aumenta el número de aspersores disminuye el dicho coeficiente. Esto provoca que al multiplicarlo por las pérdidas el valor se reduzca haciendo el valor final más real.

Tomando una Fn= 0.518 para tres aspersores se calcula

$$H_{fl} = F \times h_{ftub} \dots \dots \dots (2.18)$$

Se obtienen unas pérdidas reales de 0.13 m causadas por la fricción a lo largo de la tubería lateral

Altura del elevador

Para determinar la altura del elevador se toma en consideración el gasto del aspersor.
(Ver tabla 2.12)

Tabla 2.12 Altura mínima del elevador

Gasto del áspersos(l/s)	Altura mínima del elevador(cm)
0.25-0.75	15
0.75-1.70	25
1.70-3.40	30
3.40-8.50	45
8.450 y mas	90

En nuestro caso el caudal es de 4.78 l/s por lo que se toma una altura del elevador del 45 cm

Carga necesaria en el hidrante de riego

$$H_{hid} = h_{elev} + h_{asp} + h_{fl} \dots (2.19)$$

Donde

helev: altura del elevador	helev= 0.45m
hasp: carga de trabajo del aspersor	hasp= 56m
hfl: perdidas en el lateral de riego.	hfl= 0.13m

Se obtiene una carga en el hidrante de 56.58 m

Cálculo de la bomba

La carga de la bomba será tal que satisfaga la carga necesaria en los hidrantes en cualquier punto en que se encuentren. Esto conlleva a determinar la carga mayor comparando las rutas entre el punto más alejado y el punto más elevado en el campo de riego.

Carga de la bomba por el punto más alejado

Se divide la ruta en 6 tramos:

Tramo	Q (l/s)	L (m)	D (pulg)	V (m/s)	C (Aluminio)	Hf1000	Hfreal
-------	---------	-------	----------	---------	--------------	--------	--------

						(m)	(m)
5-4	30	37.5	8	0.93	140	4.03	0.17
4-3	30	50	10	0.59	140	1.36	0.07
3-2	30	100	10	0.59	140	1.36	0.15
2-1	30	50	10	0.59	140	1.36	0.15
1-0	30	45	10	0.59	140	1.36	0.07
Cota del emplazamiento de la bomba: $C_{t_b} = 77.5$		Cota en el hidrante: $C_{t_{hid}} = 89.13$				Pérdidas totales: $H_f = 0.53 \text{ m}$	
$\Delta Z = 11.63 \text{ m}$							

Luego:

$$H_b = h_t + h_{hid} + \Delta z \dots \dots \dots (2.20)$$

Se obtiene:

La carga de la bomba calculada desde el punto más alejado es de 68.74 m

Carga de la bomba por el punto más elevado

Se divide la ruta en 4 tramos:

Tramo	Q (l/s)	L (m)	D (pulg)	V (m/s)	C (Aluminio)	Hf1000 (m)	Hfreal (m)
8-3	30	37.5	8	0.93	140	4.03	0.17
3-2	30	100	10	0.59	140	1.36	0.15
2-1	30	50	10	0.59	140	1.36	0.15
1-0	30	45	10	0.59	140	1.36	0.07
Cota del emplazamiento de la bomba: $C_{t_b} = 77.5$		Cota en el hidrante: $C_{t_{hid}} = 90.0$				Pérdidas totales $H_f = 0.46 \text{ m}$	
$\Delta Z = 11.63 \text{ m}$							

Luego:

$$H_b = h_t + h_{hid} + \Delta z \dots \dots \dots (2.21)$$

La carga de la bomba calculada desde el punto más elevado es de 69.4 m

Se toma una carga de la bomba de 69,54 m obtenida a partir del punto más elevado por ser la de mayor valor.

Potencia de la bomba

La potencia de la bomba se determina con la ecuación:

$$N = 13,5 \left(\frac{Q}{1000} \right) \times H \dots \dots \dots (2.22)$$

Donde:

Q: caudal de diseño	H: carga de la bomba
Q=30,0 l/s	H= 70 m

La potencia necesaria de la bomba es de 28,35 kW

Energía consumida por la bomba

El cálculo de la energía consumida por la bomba se determina como:

$$E = \text{No. de riegos} \times \text{horas de trabajo diarias} \times \text{potencia} \dots (2.23)$$

La energía consumida por la bomba en un año es de 6224 kW/h.

Después de calculada la carga necesaria de la bomba se pasa a ajustar los restantes tramos en los cuales se dividió la red de riego. Este ajuste se lleva a cabo teniendo en consideración las pérdidas que deben tener las tuberías maestras y secundarias para garantizar que la carga que llega al hidrante se encuentre lo más cercano posible al calculado. Vale aclarar que los valores de carga en el hidrante después de ajustada a la red no son con exactitud los mismos al calculado sino una aproximación. Anexo xx

Distribución de las longitudes de tuberías por diámetros

Con la red de riego ajustada se pasa al cálculo del volumen de tuberías necesarias. Este dato es necesario para el cálculo del presupuesto total del sistema de riego. La distribución de los diámetros se realiza en pulgadas (") y sus longitudes en metros (m).

Tuberías de 4': 25 m de longitud
Tuberías de 8': 187.5 m de longitud

Tuberías de 6': 50 m de longitud
Tuberías de 10': 1215 m de longitud

Descripción del lateral de riego

El lateral de riego estará compuesto por tubos de aluminio de 4 pulgadas de diámetro y 6 m de largo. Se acopla de la siguiente forma:

Llave de codo + 1 tubo con acople de aspersor + 2 tubos + 1 tubo con acople de aspersor + 2

En total el lateral tiene 42 m de tubos de 6 m de longitud.

2.4 Diseño de la técnica de riego por micro-aspersión.

Necesidades hídricas de los cultivos

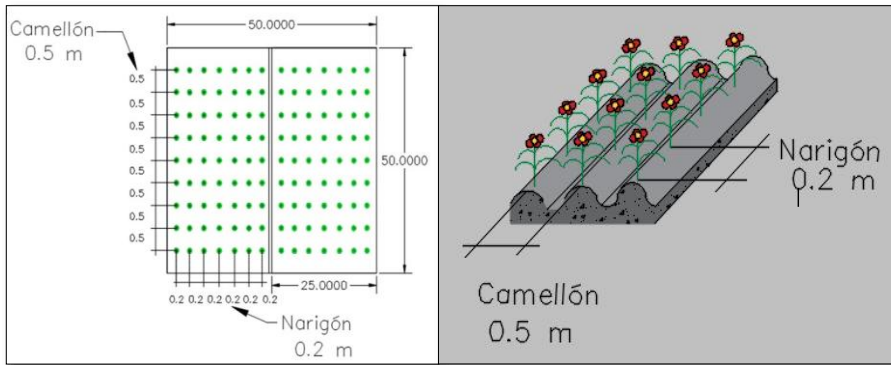
Para determinar las necesidades de los cultivos se parte de que esta técnica de riego es un caso particular del riego por aspersión por lo que va a tener similitud en su diseño e incluso varios datos se toman directa o indirectamente de los obtenidos en la técnica por aspersión.

El enfoque del riego por micro-aspersores es realizar riegos con normas pequeñas, humedeciendo solo la zona radicular y con períodos cortos de riego (1 a 4 días) para satisfacer el déficit diario de humedad.

Para el cálculo de la evapotranspiración del riego localizado se tienen en cuenta varios factores como el valor pico de evapotranspiración diaria en el mes (E_{tpico}), un coeficiente de corrección que tiene en cuenta el hecho de que en el cálculo de la evapotranspiración se incluye la cantidad de agua evaporada por la superficie del suelo y transpirada por las malas hierbas que rodean el cultivo, hecho este que no ocurre en el riego localizado que el agua se le da al cultivo en el lugar preciso para que le lo tome y no se pierde agua por esos conceptos (k_r) y el área del marco de plantación (A_m)

Cálculo de la evapotranspiración

Figura 2.10 Marco de siembra de los cultivos



Cálculo del coeficiente K_r por el método de Aljibury:

$$A = \frac{A_c}{A_m} \dots \dots \dots (2.25)$$

$$A_c = \frac{3.14 \times d^2}{4} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$A_m = \text{Camellón} \times \text{Narigón} \dots \dots (2.27)$$

Donde

A_c : Área de sombra del bulbo del follaje

A_m : Área del marco de siembra

$A_c = 0.5\text{m}^2$

$A_m = 0.1\text{m}^2$ (Ver figura 2.10)

d : ancho de cobertura del follaje

A : coeficiente A de Aljibury

$d = 0.8\text{m}$

$A = 0.2$

Luego:

$$k_r = 1.34 \times A \dots \dots \dots (2.28)$$

Se obtiene:

$k_r = 0.27$

La evapotranspiración para riego localizado (E_{tRL}) resulta de la siguiente fórmula:

$$E_{tD}(RL) = E_{tpico} \times k_r \times A_m \dots (2.29)$$

Donde:

$E_{t_{pico}}$: evapotranspiración máxima obtenida en el riego por aspersión(mm)

$E_{t_{pico}} = 6\text{mm}$

Am: Ac: Área de sombra del bulbo del follaje (m^2)

$A_c = 0.5\text{m}^2$

kr: coeficiente de Aljibury

$kr = 0.27$

Se obtiene una evapotranspiración de diseño para el riego por micro-aspersión de 0.16 l/planta/día.

Intervalo de riego crítico

El intervalo de riego (T) muestra cuánto tiempo se puede tardar la realización de un riego y otro, es decir, en cuanto tiempo la humedad del suelo baja hasta el límite productivo. Después de diseñada la técnica de riego se comprueba que sea capaz de regar en un tiempo menor o igual al intervalo crítico (T_c) de no ser así no se puede aplicar.

El intervalo crítico obtenido es de 4,1 días por lo que se toman 4 días entre un riego y otro.

Norma parcial neta.

La norma parcial neta resulta de:

$$mn(RL) = Et(RL) \times T_c \dots \dots \dots (2.30)$$

Donde:

$E_{t(RL)}$: evapotranspiración de diseño T_c : intervalo crítico

$E_{t(RL)} = 0.16 \text{ l/planta/día}$ $T_c = 4 \text{ días}$

Se toma una norma parcial neta para el riego localizado de 0.64 l/planta/días

Norma parcial bruta.

La norma parcial bruta resulta de:

$$mb(RL) = \frac{mn(RL)}{N} \dots \dots \dots (2.31)$$

mn(RL): norma parcial neta

N : eficiencia de la tecnica de riego

Se obtiene una norma parcial bruta de 0.71 l/planta/días

Selección del aspersor

En la selección del micro-aspersor, al igual que en la aspersión, se tiene que cumplir que la velocidad de infiltración del suelo sea mayor que la intensidad de aplicación para evitar encharcamientos. Por tanto:

$$V_{inf} > I_{Apl.}$$

Tipo: Micro-jets Serie C ($\alpha = 2 \times 140^\circ$) azul **País de fabricación:** Cuba

Caudal:

$$q = 9,364 H^{0,511}$$

$$q = 21.31 \text{ (l/h)}$$

Radio de alcance:

$$R = 0,85 \times H^{0,172}$$

$$R = 1.12 \text{ m}$$

Coefficiente de variación

$$Cv = 0.035$$

Diámetro de la boquilla:

$$d = 1.0 \text{ mm}$$

Presión de trabajo:

$$H = 5.0 \text{ m}$$

Para determinar la intensidad de aplicación (I_{apl}) del micro-aspersor es necesario conocer el radio efectivo (R_o) y el área que moja un emisor (A_e). Estas características del aspersor se determinan de la siguiente forma:

$$R_o = R \times 1.15 \dots \dots \dots (2.32)$$

$$A_e = \frac{3.14 \times 2R_o \times \alpha}{360} \dots \dots \dots (2.33)$$

$$A_e = \frac{Q}{I_{apl}} \dots \dots \dots (2.34)$$

Aplicando estas ecuaciones se determina que la intensidad de aplicación de la norma es de 6.77mm/h.

Velocidad de infiltración del suelo

$$V_{inf}=0.55\text{mm}/\text{min}=0.55 \times 60 \text{ mm}/\text{h}=33\text{mm}/\text{h}$$

$$33 \text{ mm}/\text{h} > 6,77 \text{ mm}/\text{h}$$

$$V_{inf} > I_{Apl.}$$

Este tipo de aspersor no produce encharcamiento por lo que puede ser usado para el riego.

Superficie del suelo a mojar

Cultivos en hidropónicos $P=100\%$

$$P = \frac{Ah}{Ac} \quad P = 1 \quad Ah = Ac$$

Número de emisores

$$Ne = \frac{Ah_{min}}{Ae} \dots \dots \dots (2.35)$$

Donde:

Ah_{min} : área mínima a humedecer

Ae : área que moja un aspersor

$$Ah_{min} = 0.5\text{m}^2$$

$$Ae = 3.15\text{m}^2$$

Se determina que el número de aspersores por planta es 0.16, por lo que un aspersor riega 6 plantas a lo largo del surco.

Tiempo de aplicación de la norma

El tiempo de una puesta se determina como:

$$t_a = \frac{mn(1/\text{planta})}{q_o(1/h) \times Ne(\text{emisores}/\text{planta}) \times Ea} \dots (2.36)$$

Donde:

mn : norma parcial neta

q_o : caudal de un emisor

$$mn = 0.64 \text{ l}/\text{planta}/\text{días}$$

$$q_o = 21.31 \text{ l}/\text{s}$$

Ne : número de emisores por planta

Ea : eficiencia de aplicación de la técnica

Ne= 0.16

Ea= 0.9

Aplicando la formula con los valores antes expuestos se obtiene un tiempo de aplicación de la norma de 12.6 min. Se toman 15 min como valor constructivo y se recalcula la norma de riego.

$$mn = ta \times qo \times Ne \times Ea \dots \dots \dots (2.37)$$

Queda una norma parcial de riego para 15 minutos de 0.77 l/plantas/días

Demanda de agua anual y mensual

La demanda de agua mensual se determina como:

$$Vt = mb \times No. \text{ de plantas} \times No. \text{ de riegos} \dots (2.38)$$

Donde:

Vt: volumen mensual de agua requerido mb: norma neta parcial bruta
mb=0.77 l/planta/día

Tabla 2.13 Demandas de agua mensuales y anual.

Mes	Norma de riego (l/planta/día)	Número total de plantas	Número de riegos	Demanda de agua (m ³)
Enero	0.77	150 000	8	924
Febrero	0.77	150 000	7	808,5
marzo	0.77	150 000	8	924
Abril	0.77	150 000	7	808,5
Mayo	0.77	150 000	8	924
Junio	0.77	150 000	7	808,5
Julio	0.77	150 000	8	924
Agosto	0.77	150 000	7	808,5
Septiembre	0.77	150 000	8	924
Octubre	0.77	150 000	7	808,5
Noviembre	0.77	150 000	8	924

Diciembre	0.77	150 000	7	808,5
Total	69.3	150 000	90	10 395

Para explotar el riego por micro-aspersión se necesita aplicar una norma total de 69.3 l/planta/día al año lo que representa un total de 10 395 m³ de agua para regar 150000 plantas.

Cálculos hidráulicos de la tubería lateral y la distribuidora.

En el riego por micro-aspersores sucede que una pequeña variación de la carga en los laterales provoca una variación considerable en el caudal que entregan los emisores y, por tanto, la norma de riego no llega a la planta provocando que el rendimiento de los cultivos disminuya. Para evitar esto, se establece un rango de carga en el cual los aspersores deben trabajar. Esto garantiza la uniformidad aceptable en las entregas por parte de los micro-aspersores.

Gasto mínimo

$$\frac{q_{min}}{q_m} = \frac{CU}{100x \left(1 - \frac{1.27 x Cv}{\sqrt{Ne}}\right)} \dots (2.39)$$

Donde:

q_{min} : gasto mínimo q_m : gasto medio o de diseño del emisor seleccionado
 $q_m = 76716$ l/h

C_v : Coeficiente de variación de fabricación, es un dato que debe suministrar el fabricante u obtenerse en condiciones de laboratorio (se expresa en tanto por uno).

$C_v = 0.035$

N_e : Número de emisores por planta. (Número de emisores que aportan agua a una misma planta).

$N_e = 0.16$

CU : Coeficiente de uniformidad.

Coeficiente de uniformidad

En el riego localizado se define un nuevo coeficiente de uniformidad (CU) según la expresión:

$$Cu = \frac{q_{25}}{q_m} \dots \dots \dots (2.40)$$

Donde:

$$q_{25} = (1 - 1,27Cv) \cdot q_m$$

Representa estadísticamente el valor medio del 25% de las observaciones de gasto más bajas.

q_m : Representa el valor medio de todas las observaciones escogidas (entiéndase gastos).

Con este coeficiente se trata de garantizar una uniformidad de riego, a partir de las posibles variantes de fabricación del emisor, lo más común y recomendado por la FAO, es asumir un CU > 90%,

$$CU = 90\%$$

Aplicando la fórmula con los valores expresados se obtiene un valor de caudal mínimo de 20.00 l/s.

Carga mínima de trabajo del micro aspersor

Los emisores tienen que trabajar con una carga mínima de:

$$H_{\min} = \left(\frac{q_{\min}}{q_m} \right)^{1/x} \cdot H_m \dots \dots \dots (2.41)$$

Donde:

x: Exponente de descarga.

H_m: Carga media de trabajo del emisor

$$x = 0.511$$

$$H_m = 5 \text{ m}$$

q_m : gasto medio o de diseño del emisor seleccionado

q_{\min} : caudal mínimo del emisor
 $q_{\min} = 20.00 \text{ l/s}$.

$$q_m = 76716 \text{ l/h}$$

El emisor tiene que trabajar con una carga entre 4,42 y 5 metros

Determinar el ΔH_{adm} en el campo de riego (pérdidas admisibles):

Con el valor de H_{min} podemos determinar la diferencia de carga y la presión máxima admisible en el campo de riego como:

$$\Delta H_{adm} = M(H_m - H_{min}) \dots \dots (2.42)$$

Las experiencias prácticas recogidas en la literatura indican que el valor del coeficiente M varía entre 2 y 4 y recomiendan tomar valores entre 2,5 y 3.

Tomando $M = 3$:

$$\Delta H_{adm} = 1,75 \text{ m}$$

Carga necesaria a la entrada del lateral H_{Lmax}

$$H_{max} = H_{min} + \Delta H_{adm} \dots \dots (2.43)$$

La carga necesaria a la entrada del campo es de 6.17 m

Esta variación de presiones en el campo (ΔH_{adm}) debe repartirse entre las tuberías distribuidoras y laterales de forma equitativa

$$\Delta H_{adm} = h_{fd} + h_{fl} \dots \dots \dots (2.44)$$

Donde:

h_{fd} : Pérdidas por fricción en la tubería distribuidora h_{fl} : pérdidas por fricción en la tubería lateral

La pérdidas en la tubería distribuidoras y en los laterales es de 0.88 m.

Diseño de la tubería lateral. (Determinar el diámetro).

La longitud y el caudal que pasa por un lateral se determina como:

$$L_{lat} = (No. \text{ de plantas} - 1)E_p + \frac{E_p}{2} \dots (2.45)$$

$$Q_l = N_e \times Q_e \times No. \text{ de plantas} \dots \dots \dots (2.46)$$

Donde:

Ep: espaciamiento entre plantas Ne : número de aspersores por planta

Ep=0.2m Ne=0.16

Qe: caudal de un emisor

Qe=21.31 l/s

La longitud del lateral de riego obtenido es de 24.9 m y su caudal es de 0,00012m³/s.

Pérdidas en la tubería lateral

En las tuberías de riego localizado, que en general son lisas y de pequeño diámetro, es adecuado utilizar la fórmula de Blassius para el cálculo de las pérdidas, la cual ha sido comprobada en trabajos de investigación del CIH (Centro de Investigaciones Hidráulicas). Es posible también utilizar la ecuación de Willian - Hazen u otra conocida con el coeficiente de rugosidad adecuado.

$$hf = 0,000778 \frac{Q^{1.75}}{d^{4.75}} L \dots \dots \dots (2.47)$$

Para tuberías con servicio en ruta, entonces:

$$hf_{LRUTA} = Fn \times 0,000778 \frac{QL^{1.75}}{d^{4.75}} L_{LAT} \dots \dots (2.48)$$

Donde:

hf_{lruta}: pérdidas en el lateral(m) d: Diámetro de la tubería(m)

L: longitud de la tubería(m) QL: Caudal que pasa por el lateral (m³/s)

Fn: coeficiente para aplicar la fórmula de Blassius. Depende del número de emisores. Anexo 3

Tomando una Fn= 0,389 para 20 emisores y pérdidas de 0,88m se determina que el diámetro del lateral es de 13.12 mm. Llevándolo a un diámetro comercial se selecciona 15.4 mm de diámetro interior.

Cálculo de las pérdidas reales

Aplicando la ecuación (x) para un diámetro de 15.4 mm se obtienen unas pérdidas de 0,412 m. Estas pérdidas en el lateral son menores que las admisibles ($h_{fl}=0.88m$) por lo que se puede usar este diámetro comercial.

$$H_{fruta}=0,412m > \text{pérdidas admisibles}$$

Diseño de tubería distribuidora (Determinar el diámetro).

El caudal que pasa por la tubería distribuidora es de 11.84 l/s y su longitud es de 50m. Tomando una $F_n=0,369$ para 100 laterales y pérdidas de 1,348 m se fija un diámetro de 75 mm. Tomando un diámetro comercial quedan 79.2 mm de diámetro interior.

Cálculo de las pérdidas reales

Aplicando la ecuación (x) para un diámetro de 79.2 mm se obtienen unas pérdidas de 1.04 m. Estas pérdidas en la distribuidora son menores que las admisibles ($h_{fl}=1.36m$) por lo que se puede usar este diámetro comercial.

$$H_{fruta}=1.04m > \text{pérdidas admisibles}$$

Distribución de los caudales

Los laterales tendrán una longitud de 25 m y se colocaran 20 emisores con un caudal de 21,31 l/h por lo que el gasto en el lateral será de 0,12l/s. La tubería de los laterales será de PVC y se colocará soterradamente.

La tubería distribuidora tendrá una longitud de 100 m y tendrá acoplado 100 laterales trabajando simultáneamente por lo que el gasto de la distribuidora es de 11,84 l/s.

La tubería secundaria tendrá una longitud de 25 m, de PVC y tendrán acoplados 2 distribuidoras. Las distribuidoras se accionaran con válvulas de cierre colocadas en la unión entre la misma y la secundaria. Trabaja una distribuidora por vez por lo que el caudal en la secundaria y la magistral será el mismo todo el tiempo de riego.

Carga necesaria en la entrada del campo (H_e)

$$H_e = h_{elev} + h_{asp} + h_{fl} + h_{fd} \dots (2.49)$$

Donde:

helev; altura del elevador	hasp: carga de trabajo del aspersor
helev=0.2m	hasp=5m
hfl: pérdidas en la tubería lateral	hfd: pérdidas en la tubería distribuidora
hfl= 0,412m	hfd=1,04 m

La carga en la entrada del campo es de 6.65 m y se toman 7 m.

Cálculo de la bomba

Al igual que en el riego por aspersión la carga de la bomba tiene que garantizar que en todas las entradas de los campos se entrega la carga necesaria para el adecuado funcionamiento de los emisores. Se procede a calcular la carga de la bomba desde el punto más alejado y el más elevado tomando el mayor valor entre los mismos.

Las pérdidas por fricción en los tramos de tuberías se determinan aplicando la fórmula de William-Hazen.

$$H_f = 10.672x \frac{1}{C^{1.85}} x \frac{Q^{1.85}}{d^{4.78}} x L \dots (2.50)$$

Donde:

C: coeficiente que depende del material de la tubería.	Q: caudal que pasa por la tubería Q=(m ³ /s)
C=140 (PVC)	
d: diámetro de la tubería d=(m)	L: longitud de la tubería L=(m)

El valor de las pérdidas por fricción en la tubería se le adiciona las pérdidas en los accesorios que por lo general representan el 10% de las pérdidas por fricción.

Carga de la bomba por el punto más alejado:

Se divide la ruta en 4 tramos:

Tramo	Q (m ³ /s)	L (m)	d (m)	C (PVC)	Hf (m)	Hfreal (m)
12-10	30	50	0.104	120	0.886	0.97
10-7	30	50	0.104	120	0.886	0.97

7-1	30	50	0.104	120	0.886	0.97
1-0	30	145	0.104	120	2,569	2,825
Cota del emplazamiento de la bomba:		Cota en la entrada del campo:			Pérdidas totales:	
Ct _b = 77.5		Ct _{He} = 89.5			Ht=5.75 m	
ΔZ= 12 m						

Luego:

$$H_b = h_t + h_{hid} + \Delta z \dots \dots \dots (2.51)$$

Se obtiene:

La carga de la bomba calculada desde el punto más alejado es de 24,75m.

Cálculo de la carga de la bomba por el punto más elevado.

Se divide la ruta en 2 tramos:

Tramo	Q (m ³ /s)	L (m)	d (m)	C (PVC)	H _f (m)	H _{freal} (m)
6-1	30	25	0.104	120	0.443	0.97
1-0	30	145	0.104	120	2,569	2,825
Cota del emplazamiento de la bomba:		Cota en la entrada del campo:			Pérdidas totales	
Ct _b = 77.5		Ct _{he} = 90.8			ht=3.31 m	
ΔZ= 13.3 m						

Luego:

$$H_b = h_t + h_{hid} + \Delta z \dots \dots \dots (2.52)$$

Se obtiene:

La carga de la bomba calculada desde el punto más alejado es de 23.61m.

Luego comparamos las cargas calculadas por los dos puntos y se selecciona la mayor:

$$H_b \text{ punto más alejado: } H_b \text{ punto más elevado} \\ 24,75\text{m} > 23,61 \text{ m}$$

Potencia de la bomba

La potencia de la bomba se determina con la ecuación:

$$N = 13,5 \left(\frac{Q}{1000} \right) x H \dots \dots \dots (2.53)$$

Donde:

Q: caudal de diseño

H: carga de la bomba

Q= 12 l/s

H= 32 m

La potencia necesaria de la bomba es de 5,18 kW

Energía consumida por la bomba

El cálculo de la energía consumida por la bomba se determina como:

$$E = \text{No. de riegos} \times \text{horas de trabajo diarias} \times \text{potencia} \dots (x)$$

La energía consumida por la bomba en un año es de 1631 kW/h.

Distribución de las longitudes de las tuberías por diámetro

Con la red de riego ajustada se determinan las longitudes de las tuberías necesarias. Este dato es necesario para el cálculo del presupuesto total del sistema de riego. La distribución de los diámetros se realiza en milímetros (mm) y sus longitudes en metros (m).

Tuberías de 69.2mm: 115 m de longitud Tuberías de 79.2mm: 25 m de longitud

Tuberías de 83mm: 60 m de longitud Tuberías de 101.4mm: 1635 m de longitud

Cabezal de riego

Producto a las impurezas que contiene el agua para riego como partículas suspendidas, algas, desechos orgánicos, etcétera, los micro-aspersores tienden a tener obstrucciones luego de su puesta en marcha de forma mediata o inmediata. Teniendo en cuenta que se captara el gua directamente del río Sagua la Chica es necesario colocar filtros para evitar que las impurezas pasen a la red. En tiempos de lluvia la calidad del agua disminuye considerablemente, factor a tener en cuenta para

la selección del cabezal de riego aunque no es menos cierto que en la práctica durante ese tiempo no se riega, pero siempre existe un tiempo en que el río sigue con alto nivel de turbiedad después de las lluvias.

Para la selección del cabezal se tienen en cuenta el caudal a filtrar y la calidad del agua.

Se selecciona un cabezal de fabricación nacional de tipo AFM para un caudal de 12 l/s y filtrando agua sucia. Este tipo de cabezal produce una pérdida de 6,5 m desde la entrada a la salida del mismo por lo que la carga real de la bomba teniendo en cuenta las pérdidas en el cabezal de riego es de 31.5m.

CAPÍTULO 3: CÁLCULO ECONÓMICO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

3.1 Cálculo de los costos de las técnicas de riego.

Para el cultivo de flores en la finca se pueden aplicar cualquiera de las técnicas de riegos que se establecen en el Capítulo 2 pero solo una de ellas tiene un costo menor en su aplicación. En este capítulo se analizan los costos de cada variante de riego y se establece una comparación técnico-económica para determinar la de mayor factibilidad.

El costo de la técnica abarca desde el gasto inicial por la inversión hasta los costos que conlleva la explotación por gastos de energía, recursos, salarios, mantenimiento, etc.

Para determinar los costos se utiliza la siguiente función objetivo:

$$CAT = C_{\text{Tubería}} + C_{\text{EB}} + C_{\text{Energía}} + C_{\text{O.M}}$$

Donde:

CAT: costo anualizado total

$C_{\text{Tubería}}$: costo de las tuberías

C_{EB} : costo de la estación de bombeo

$C_{\text{Energía}}$: costo del consumo de energía anual

$C_{\text{O.M}}$: costo de mantenimiento y operación de las técnicas.

Costo de la estación de bombeo

El costo de la estación de bombeo se compone de la suma del costo de la bomba y de la obra civil. Para determinar dichos costos se utilizan las ecuaciones propuestas por los ingenieros Juan Daniel Quintana y Alberto Díaz Barata en el manual de Índices Técnico-económicos para la evaluación de inversiones de Obras Hidráulicas.

En el caso del cálculo del índice técnico-económico para determinar el costo de la bomba se determina como:

$$Y = 8269.1X^{-0.3929} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$C_{\text{bomba}} = Y \times N \dots \dots \dots (3.2)$$

donde:

Y: índice técnico-económico (\$/kW) x: potencia de la bomba (kW)

N: potencia instalada

Para el costo de la obra civil:

$$Y = 1497.9X^{-0.2017} \dots \dots \dots (3.3)$$

$$Cbomba = Y x N \dots \dots \dots (3.4)$$

donde:

Y: índice técnico-económico (\$/kW) x: potencia de la bomba (kW)

N: potencia instalada

En el caso de la técnica por aspersión, con una potencia instalada de 28.35 kW, el costo de la bomba es de \$ 62 994,55 y el costo de la obra civil es de \$ 21 629,97.

Para el riego por micro-aspersión, con una potencia instalada de 5.18 kW, el costo de la bomba es de \$ 22 445,43 y el costo de la obra civil es de \$ 5 568,42.

El costo de la estación de bombeo de la técnica por aspersión es de \$ 84 625 y el costo de la estación de bombeo de la micro-aspersión es de \$ 28 014.

Costo del consumo de energía anual

A partir de la Resolución No.277/2014 del Ministerio de Finanzas y Precios de la República de Cuba se establece que el costo de del kw/hora de energía eléctrica es de dos (2) pesos.

$$Cenergía = \$2/kW/h x Energía consumida \dots (3.5)$$

El riego por aspersión consume 6224 kW/h y tiene un gasto anual de \$ 12 448,00 mientras que el riego por micro-aspersión consume 1631 kW/h y tiene un gasto de \$ 348,38.

Costo de las tuberías.

El costo total de las tuberías también se calcula a partir del manual de Índices Técnico-económicos para la evaluación de inversiones de Obras Hidráulicas para conducciones forzadas.

$$Y = 8269.1X^{-0.3929} \dots \dots \dots (3.6)$$

donde:

Y: índice técnico-económico (\$/kW) x: potencia de la bomba (kW)
N: potencia instalada

Para el riego por aspersión el costo total de las tuberías de conducción es de \$ 148.746,83 y para el riego localizado es de \$ 172.064,63.

Los costos de las tuberías y el costo de la estación de bombeo pertenecen al valor inicial de la inversión. Los costos del consumo de energía al año y los costos de operación y mantenimiento pertenecen a los costos anuales de las diferentes técnicas. Para determinar el costo de operación y mantenimiento del sistema se utiliza como valor orientativo el 8 % de los costos anuales de energía o el 3 % del valor de la inversión. (Featherstone y El Juwaily, 1983). Por tanto:

$$C_{o.M} = 0.03 \times CI \dots \dots \dots (3.7)$$

Costo anualizado.

Para realizar un análisis comparativo en cuanto a los presupuestos de las dos técnicas se debe anualizar las inversiones de cada una y luego adicionarle los gastos anuales. La inversión anualizada se determina como:

$$IA = CI \times f \dots \dots \dots (3.8)$$

Donde:

CI: Costo de inversión f: Factor de anualización
 $CI = C_{\text{Tubería}} + C_{\text{EB}}$ $f = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^{n-1}}$

Presupuesto de la técnica por aspersión:

Aplicando las ecuaciones antes descritas se obtienen los siguientes costos:

$C_{\text{Tuberías}} = \$ 148.746,83$ $C_{\text{E.B.}} = \$ 84.624,52$ $C_{\text{Energía}} = \$ 1329.45$

$C_{\text{MO}} = \$ 7.001,14$ $CI = \$ 233.371,35$

Tomando una tasa de interés del de 10 % (INRH, proyectos de colaboración) y 25 años para la liquidación (NC 53-121)

$r=0.11017$ (A/P) libro de economía.

IA= \$ 25.710,52163

CAT= \$ 82.151,66

El costo anualizado total del riego por aspersión es de \$ 82.152

Presupuesto de la técnica por micro-aspersión

Aplicando las ecuaciones antes descritas se obtienen los siguientes costos:

$C_{\text{Tuberías}} = \$ 172.064,63$ $C_{E.B} = \$ 28.013,42$ $C_{\text{Energía}} = \$ 3.263,40$

$C_{MO} = \$ 6.002,34$ CI= \$ 200.078,05

Tomando una tasa de interés del de 10 % (INRH, proyectos de colaboración) y 25 años para la liquidación (NC 53-121)

$r=0.11017$ (A/P) libro de economía.

CA= \$ 22.042,6

CAT= \$ 50.568,34

El costo anualizado total de la técnica por micro-aspersión es de \$ 50.570

3.2 Análisis de factibilidad entre ambas técnicas de riego.

Aspersión

Al calcular la evapotranspiración para la técnica de riego por aspersión se obtiene un valor de 60 m³/ha/día y se aplica una norma parcial bruta de 320 m³/ha. Los intervalos de riego oscilan entre los 4 y 11 días dependiendo del mes. Se realizaran un total de 34 riegos al año requiriendo 544000 litros de agua por riego. En total se necesitan 18, 496 m³ de agua para aplicar esta técnica.

Se selecciona un aspersor de producción inglesa con un caudal de 17, 208 l/h, carga de trabajo de 56 m y espaciado a 18 x 25 m. El tiempo de aplicación de la norma es de 6 h diarias. Serán necesarios tres aspersores por lateral, dos laterales trabajando y dos de reserva, lo que indica un total de 12 aspersores. La carga de la bomba obtenida es de 70 m con una potencia de 28,35 kW. Se necesitan 42 m de tubería de 4 pulgadas de aluminio, 50 m de 6 pulgadas, 187,5 m de 8 pulgadas y 1215 m de 10 pulgadas, estas 3 últimas de PVC.

El costo de la estación de bombeo es de \$84.6255 y el de las tuberías es de \$148.747 por lo que el valor de la inversión es de \$233.372. Los costos anuales causados por la demanda de agua, de energía eléctrica y el mantenimiento y operación son de \$50.435,84. Esto provoca que el costo anualizado total del riego por aspersión sea \$ 82.152 en total.

Micro-aspersión

La evapotranspiración para el riego localizado obtenida es de 0.16l/plantas/día. El intervalo de riego es de 4 días por lo que se aplica una norma parcial bruta de 0.71l/planta/día. Se aplican un total de 90 riegos al año necesitando un volumen de agua de 10 395 m³.

El aspersor seleccionado es de producción nacional y presenta un caudal de 21,31 l/h, una carga de trabajo de 5 m y espaciados a 1.3 x 0.5 m. El tiempo de riego diario es de 3.5 horas, se acoplan 20 aspersores por lateral. Como es un sistema estacionario se necesitan 24, 000 aspersores. La carga de la bomba es de 32 m y su potencia de 5.18 kW. Se necesitan 25 m de tubería de 15.4 mm, 25m de 69.2 mm, 60 m de 83 mm y 1636 de 101,4 mm, todas de PVC.

La estación de bombeo tiene un costo de \$ 28.013 y las tuberías y los aspersores de \$ 172.065 siendo el valor de la inversión de \$ 225.078. Los costos anuales causados por la demanda de agua, de energía eléctrica y el mantenimiento y operación son de \$ 24.314,47. El costo anualizado total del riego por micro-aspersión es de \$ 55.602,59

Realizando un análisis entre las dos variantes se observa que:

- El volumen de agua necesario para el riego por aspersión sobrepasa en 8101 m³ al de riego por micro-aspersión.
- La bomba para realizar el riego por aspersión demanda una potencia 5 veces mayor que la necesaria para el riego por micro-aspersión.
- El valor de las inversiones del riego por aspersión y micro-aspersión tiene una diferencia de \$ 8000, siendo la técnica por micro-aspersión la de menor costo.
- El costo anulizado total de la técnica de riego por micro-aspersión es \$ 26 000 menor que el de aspersión.

Teniendo en cuenta el análisis técnico-económico que se realiza, se propone aplicar el método de riego localizado, a través del sistema de riego por micro-aspersores que se muestra en el Capítulo 2, siendo esta la variante más factible para el cultivo de flores en la finca la Veguelana. Aplicando dicho sistema se ahorra un volumen de agua de 8100 m³, esto representa cerca de la mitad del consumo de agua respecto a la aspersión, 4600 kW/hora al año y \$ 8000 de inversión inicial.

Tabulando las características de cada técnica

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se determinaron las principales características de la floricultura en el mundo y en nuestro país, así como los métodos de riegos más utilizados para realizar el cultivo en suelos con déficit de humedad.
2. Se diseñó un sistema de riego para garantizar buenos rendimientos en el cultivo de flores en la finca La Veguelana siendo los métodos del riego por aspersión y el riego localizado los que mejor se ajustan a las condiciones de estudio.
3. Se realizó un análisis entre dos variantes de acuerdo a parámetros técnico-económicos y se determinó que el sistema de riego por aspersión diseñado es el de mayor factibilidad.

Recomendaciones

Se recomienda determinar el período de recuperación de la inversión y los rendimientos obtenidos en el cultivo de flores a nivel mundial al aplicar una u otra técnica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía:

- Amizguita, E., 1999. REQUERIMIENTOS DE AGUA Y NUTRICION DE CULTIVOS DE FLORES. , p.22.
- Badillo, M.F. et al., 2009. MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE RIEGO.
- Dole, J. & Wilkins., H., 1999. *Floriculture.Principles and Species*. Prentice Hall,
- Fernández, A. et al., 2008. *Recomendaciones técnicas para la producción y comercialización de flores de corte*,
- M.Caballero & Jiménez, R., 1990. El cultivo industrial de las plantas de maceta.

-
- Merencio, J.L., 2014. Redención de las flores. *Granma*.
- Oliva, C.M. et al., 1973. *Manual Técnico para la proyección de los sistemas de riego por Aspersión.*
- Pereira, L.S. & Martín-Benito, J.A. de J.V.M.R.P.B.J.M.T., 2010a. *EL RIEGO Y SUS TECNOLOGÍAS*,
- Pereira, L.S. & Martín-Benito, J.A. de J.V.M.R.P.B.J.M.T., 2010b. *EL RIEGO Y SUS TECNOLOGÍAS*,
- Ruíz, D.E.G. & Martha, F.M.S., 1998. INGENIERIA DE RIEGO.
- Ruíz, D.E.G. & Reyes, M.S.M.F. de los, 1998. Libro de Riego I y II.
- Venancio Sing, Maldonado, M. & Pizano, M., 1989. Memorias del simposio latinoamericano de flores y plantas ornamentales.

ANEXOS

Anexo 1. Necesidades hídricas de los cultivos

Fórmulas empíricas para la obtención de la evapotranspiración(Oliva et al. 1973)

Blaney y Criddle (1945)

$$E_t = k \cdot F$$

F: Fuerza evaporante (función de la temperatura y la duración del soleamiento)

k: coeficiente poco variable que integra los demás factores

Thornthwaite (1944-1948)

$$E_{tp} = C \cdot t^a$$

E_{tp}: Evapotranspiración potencial para un mes de 30 días y una duración teórica del sol de 12 horas.

C y a: coeficientes, funciones del "índice térmico anual"

Penmann (1949)

$$E_t = K \cdot (E_{tp})$$

O: evaporación de una superficie de agua libre

K: coeficiente de reducción (0,6-0,8)

Cálculo del Uso Consuntivo aplicando el método Blaney y Criddle

Mes	T	H/ luz	f	k t	f x kt	Kc
numero	1	2	3	4	5	6
1	23,9	7,83	149,10	0,98	146,69	0,474
2	22,4	7,3	134,00	0,94	125,58	0,64
3	23,5	8,42	158,80	0,97	154,25	0,803
4	24,5	8,5	164,19	1,00	164,61	0,803
5	25,7	9,09	180,57	1,04	187,78	0,91
6	27,4	8,92	184,12	1,09	201,22	0,923
7	28,3	8,16	171,79	1,12	192,56	0,923
8	28,4	8,90	187,78	1,12	211,06	0,901
9	27,1	8,27	169,57	1,08	183,73	0,845
10	26,5	9,21	186,32	1,06	198,40	0,735
11	25	7,66	149,71	1,02	152,42	0,615

12	23	7,74	144,20	0,96	137,83	0,482
----	----	------	--------	------	--------	-------

Mes	UC	UC'	días	UC diario	T días
numero	7	8	9	10	11
1	69,53	64,88	31	2	11,4
2	80,37	74,99	28	3	8,9
3	123,87	115,57	31	4	6,4
4	132,18	123,33	30	4	5,8
5	170,88	159,44	31	5	4,6
6	185,72	173,29	30	6	4,1
7	177,73	165,83	31	5	4,5
8	190,16	177,43	31	6	4,2
9	155,25	144,86	30	5	4,9
10	145,82	136,06	31	4	5,4
11	93,74	87,47	31	3	8,4
12	66,44	61,99	31	2	11,9

Calculo de las necesidades de riego por el método de balance hídrico.

Mes	1	2	3	4	5	6	7
Lluvia aprovechable (mm)	22.94	19.54	25.49	35.12	77.93	104.93	69.34
Reserva de humedad	21.25	2.75	19.30	1.22	-15.00	0	3.64
Uso consuntivo UC' (mm)	64.88	74.99	115.57	123.33	159.44	173.29	165.83
Déficit de riego (mm)	-20.69	-52.70	-70.78	-87.00	-96.51	-68.36	-92.86
Norma de riego (mm)	24	72	72	72	72	72	96
No riegos	1	3	3	3	3	3	4

Mes	8	9	10	11	12	Total
Lluvia aprovechable (mm)	77.93	87.74	81.00	29.26	16.14	647.35
Reserva de humedad	3.14	-24.36	-9.48	7.46	21.25	
Uso consuntivo UC' (mm)	177.43	144.86	136.06	87.47	61.99	1485.14
Déficit de riego	-96.36	-81.48	-64.54	-50.75	-24.59	-806.62

(mm)						
Norma de riego (mm)	72	72	72	72	48	816
No riegos	3	3	3	3	2	34

Eficiencia del riego

Sistemas de riego. Eficiencias (%)

- Riego por gravedad con nivelado de precisión:
 - Surcos. 65 – 85
 - Fajas. 70 – 85
 - Canteros. 70 – 90
- Riego por gravedad tradicional:
 - Surcos. 40 – 70
 - Fajas. 45 – 70
 - Canteros. 45 – 70
 - Riego de arroz, canteros en inundación permanente. 25 – 70*
- Riego por aspersión:
 - Sistemas estacionarios de cobertura total. 65 – 85
 - Sistemas estacionarios desplazables manualmente. 65 – 80
 - Laterales con ruedas. 65 – 80
 - Cañón con enrollador o con cable. 55 – 70
 - Laterales móviles, con pivote central. 65 – 85
- Microrriego (riego localizado):
 - Goteros, ≈ 3 emisores por planta (frutales). 85 – 95
 - Goteros, < 3 emisores por planta. 80 – 90
 - Micro-aspersores y “difusores” (frutales). 85 – 95

Demanda de agua mensual y total

Mes	1	2	3	4	5	6
Norma de riego mm	32	96	96	96	96	96
Norma de riego m3/ha	320	960	960	960	960	960
Area de riego en ha	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Demanda de agua m3	725	2176	2176	2176	2176	2176

Mes	7	8	9	10	11	12	Total
Norma de riego mm	128	96	96	96	96	64	1088
Norma de riego m ³ /ha	1280	960	960	960	960	640	10880
Area de riego en ha	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Demanda de agua m ³	2901	2176	2176	2176	2176	1451	24661,3

Anexo 2. Diseño de la técnica de riego por aspersión

Calculo de la carga de la bomba

Se divide la ruta en 6 tramos:

Tramo 5-4:

Q=30 l/s Longitud: 37,5 m D=8 pulg Vecon=0,93 m/s C = 140 hf1000=4,03
hf real =0,17 m Ct5=89,13

Tramo 4-3:

Q=30 l/s Longitud: 50 m D=10 pulg Vecon=0,59 m/s C = 140 hf1000=1,36
hf real =0,07 m Ct4=xxx

Tramo 3-2:

Q=30 l/s Longitud: 100 m D=10 pulg Vecon=0,59 m/s C = 140 hf1000=1,36
hf real =0,15 m Ct3=xxx

Tramo 2-1:

Q=30 l/s Longitud: 50 m D=10 pulg Vecon=0,59 m/s C = 140 hf1000=1,36
hf real =0,07 m Ct2=xxx

Tramo 1-0:

Q=30 l/s Longitud: 45 m D=10 pulg Vecon=0,59 m/s C = 140 hf1000=1,36
hf real =0,07 m Ct1=xxx

Perdidas totales

Ht=∑hftramos=0,53m

Ctbomba=77,5

Δz= Ct5-Ctbomba=11,63

Hb=ht+hid+Δz

$$H_b = 0,53 + 56,58 + 11,63$$

$$H_{\text{bomba}} = 68,74 \text{ m Punto mas alejado}$$

Tramo	gasto l/s	l m	Vm/s	C	hf1000	hf real	d pulg	piezo m
5-4	30	37,5	0,93	140	4,03	0,17	8	145,71
4-3	30	50	0,59	140	1,36	0,07	10	145,88
3-2	30	100	0,59	140	1,36	0,15	10	145,95
2-1	30	50	0,59	140	1,36	0,07	10	146,10
1-0	30	45	0,59	140	1,36	0,07	10	146,18

Calculo de la carga de la bomba desde el punto más elevado

Se divide la ruta en 4 tramos:

Tramo 8-3:

$$Q = 30 \text{ l/s} \quad \text{Longitud: } 37,5 \text{ m} \quad D = 8 \text{ pulg} \quad V_{\text{con}} = 0,93 \text{ m/s} \quad C = 140 \quad hf_{1000} = 4,03$$

$$hf_{\text{real}} = 0,17 \text{ m} \quad Ct_8 = 90$$

Tramo 3-2:

$$Q = 30 \text{ l/s} \quad \text{Longitud: } 100 \text{ m} \quad D = 10 \text{ pulg} \quad V_{\text{con}} = 0,59 \text{ m/s} \quad C = 140 \quad hf_{1000} = 1,36$$

$$hf_{\text{real}} = 0,15 \text{ m} \quad Ct_3 = \text{xxx}$$

Tramo 2-1:

$$Q = 30 \text{ l/s} \quad \text{Longitud: } 50 \text{ m} \quad D = 10 \text{ pulg} \quad V_{\text{con}} = 0,59 \text{ m/s} \quad C = 140 \quad hf_{1000} = 1,36$$

$$hf_{\text{real}} = 0,07 \text{ m} \quad Ct_2 = \text{xxx}$$

Tramo 1-0:

$$Q = 30 \text{ l/s} \quad \text{Longitud: } 45 \text{ m} \quad D = 10 \text{ pulg} \quad V_{\text{con}} = 0,59 \text{ m/s} \quad C = 140 \quad hf_{1000} = 1,36$$

$$hf_{\text{real}} = 0,07 \text{ m} \quad Ct_1 = \text{xxx}$$

Pérdidas totales

$$H_t = \sum hf_{\text{tramos}} = 0,46 \text{ m}$$

$$Ct_{\text{bomba}} = 77,5$$

$$\Delta z = Ct_5 - Ct_{\text{bomba}} = 12,5$$

$$H_b = h_t + h_{\text{id}} + \Delta z$$

$$H_b = 0,46 + 56,58 + 12,5$$

$$H_{\text{bomba}} = 69,54 \text{ m Punto más elevado}$$

Ajuste de la red.

Tramo 6-4:

Q=30 l/s Longitud: 25 m D=6 pulg V=1,64 m/s C = 140 hf1000=16,36m
hf real =0,45 m Ct6=89

Q=30 l/s Longitud: 12,5 m D=8 pulg V=0,93m/s C = 140 hf1000=4,03m
hf real =0,06 m Ct6=89

Tramo 4-3:

Q=30 l/s Longitud: 50 m D=10 pulg Vecon=0,59 m/s C = 140 hf1000=1,36
hf real =0,07 m Ct4=xxx

Tramo 3-2:

Q=30 l/s Longitud: 100 m D=10 pulg Vecon=0,59 m/s C = 140 hf1000=1,36
hf real =0,15 m Ct3=xxx

Tramo 2-1:

Q=30 l/s Longitud: 50 m D=10 pulg Vecon=0,59 m/s C = 140 hf1000=1,36
hf real =0,07 m Ct2=xxx

Tramo 1-0:

Q=30 l/s Longitud: 45 m D=10 pulg Vecon=0,59 m/s C = 140 hf1000=1,36
hf real =0,07 m Ct1=xxx

Tramo 8-3:

Q=30 l/s Longitud: 37,5 m D=8 pulg Vecon=0,93 m/s C = 140 hf1000=4,03
hf real =0,17 m Ct8=89 msnmm

Tramo 9-2:

1er tramo:

Q=30 l/s Longitud: 12,5 m D=4 pulg Vecon=3,7 m/s C = 140 hf1000= 117,86
hf real = 1,62m Ct1=88,9

2do tramo:

Q=30 l/s Longitud: 12,5 m D=6 pulg Vecon= 1,64m/s C = 140 hf1000= 16,36
hf real = 0,22m

3er tramo:

Q=30 l/s Longitud: 12,5 m D=8 pulg Vecon= 0,93m/s C = 140 hf1000= 4,03
hf real = 0,06m

Tramo 7-2:

1er tramo:

Q=30 l/s Longitud: 12,5 m D=4 pulg Vecon=3,7 m/s C = 140hf1000= 117,86
hf real = 1,62m Ct8=87,7 msnmm

2do tramo:

Q=30 l/s Longitud: 12,5 m D=6 pulg Vecon= 1,64m/s C = 140 hf1000= 16,36
hf real = 0,22m

3er tramo:

Q=30 l/s Longitud: 12,5 m D=8 pulg Vecon= 0,93m/s C = 140 hf1000= 4,03
hf real = 0,06m

Tramo 10-1:

Q=30 l/s Longitud: 37,5 m D=8 pulg Vecon= 0,93m/s C = 140 hf1000= 4,03
hf real = 0,07m

Anexo 3. Diseño de la técnica de riego por micro-aspersión

Factor de corrección de Blassius para determinar las pérdidas reales de carga en las tuberías.

N	Fn	N	Fn	N	Fn	N	Fn
2	0,684	11	0,410	20	0,389	100	0,369
3	0,546	12	0,406	25	0,384	150	0,367
4	0,498	13	0,403	30	0,380	200	0,366
5	0,469	14	0,400	35	0,375	300	0,365
6	0,450	15	0,398	40	0,376	400	0,365
7	0,438	16	0,395	50	0,374	500	0,365
8	0,428	17	0,394	70	0,371	>700	0,364
9	0,421	18	0,392	80	0,370		

Cálculo de la carga de la bomba

Cálculo de la bomba por el punto más alejado:

Se divide la ruta en 4 tramos:

Tramo 12-10

Q=0,0118 m³/s Longitud: 50 m D=0,1014m C = 140 hf=0,886m
 hf real = 0,97m Ct12=89,5

Tramo 10-7

Q=0,0118 m³/s Longitud: 50 m D=0,1014m C = 140 hf=0,886m
 hf real = 0,97m Ct12=xxx

Tramo 7-1

Q=0,0118 m³/s Longitud: 50 m D=0,1014m C = 140 hf=0,886m
 hf real = 0,97m Ct12=xxx

Tramo 1-0

Q=0,0118 m³/s Longitud: 145 m D=0,1014m C = 140 hf=2,569m
 hf real = 2,82,5m Ct12=xxx

Pérdidas totales = 5,75 m

Carga en la entrada del campo= 7m

Ct 12= 89,5

Ct 0= 77,5

Diferencia geodésica $\Delta Z=12$

Carga en la Bomba=24,75m

Cálculo de la carga de la bomba por el punto más elevado:

Se divide la ruta en 2 tramos:

Tramo 6-1

Q=0,0118 m³/s Longitud: 25 m D=0,1014m C = 140 hf= 0,443 m

hf real =0,487 m Ct6=90,8

Tramo 1-0

Q=0,0118 m³/s Longitud: 145 m D=0,1014m C = 140 hf=2,569m

hf real = 2,825m Ct12=xxx

Pérdidas totales= 3,31m

Carga en el hidrante= 7m

Ct6=90,8

Ct0=77,5

Diferencia geodésica $\Delta Z= 13,3$ m

Carga en la Bomba= 23,61 m

Ajuste de la red

Tramo 9-7

1er tramo

Q=0,0118 m³/s Longitud: 15 m D= 69,2mm C = 140 hf real = 2,825m

2do tramo

Q=0,0118 m³/s Longitud: 15 m D= 83 mm C = 140 hf real =0,51m

Tramo 5-1

Q=0,0118 m³/s Longitud: 25 m D=69,2mm C = 140 hf real = 3,03m

Tramo 4-1

Q=0,0118 m³/s Longitud: 25 m D= 79,2 mm C = 140 hf real =1,59m

Tramo 3-2

Q=0,0118 m³/s Longitud: 25 m D=0,1014m C = 140 hf real = 0,97m

Tramo 11-10

Q=0,0118 m³/s Longitud: 25 m D=69,2mm C = 140 hf real = 3,03m