

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FC
Facultad de
Construcciones

Departamento de Ingeniería Hidráulica

TRABAJO DE DIPLOMA

**Título: Diseño del Sistema de Riego para el Jardín Botánico de la
Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.**

Autor: Noelvis Galindo Bernal

Tutor: Ing. Roily Ruiz Pérez

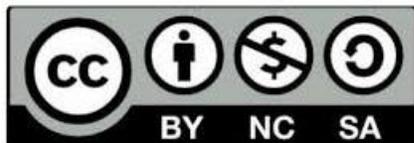
Santa Clara, junio 2018

Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos: +53 01 42281503-

Dedicatoria

- ❖ Dedico este esfuerzo a todas la personas que contribuyen de alguna forma a tratar de mantener un mundo balanceado entre los seres humanos y la naturaleza, aquellos que revelan su alma y demuestran que sus vidas son un espejo de la naturaleza.
- ❖ A mi familia por enseñarme que el futuro no es un lugar hacia dónde vamos, sino un lugar que nosotros creamos.
- ❖ A mis padres los cuales son una luz en mi camino.
- ❖ A mi tutor por su dedicación.
- ❖ A mis amigos que nunca perdieron las esperanzas en mí.
- ❖ A todo el Departamento de Ingeniería Hidráulica y todas aquellas personas que de alguna forma estuvieron involucradas en este Trabajo de Diploma.

Agradecimientos

- ❖ Quiero agradecer a todas las personas con las que me cruce en este camino que aportaron con sus conocimientos científicos y espirituales para mi formación personal y académica.

Gracias a:

- ❖ A mis padres por su paciencia y dedicación durante estos años de continua lucha.
- ❖ A mis queridos hermanos, quienes con su presencia virtual me han apoyado y soportado en esta etapa tan significativa.
- ❖ A mis primos, por ser como son, un buen equipo.
- ❖ A mi tutor por ser mi educador y amigo, quien es una fuente de motivación y confianza. Gracias Roily por aportar tus conocimientos y alegría junto con una buena taza de Café.
- ❖ Al Departamento de Ingeniería Hidráulica por abrirme sus puertas en momentos de sugerencia y correcciones sin las cuales no habría sido posible mi formación como Ingeniero Hidráulico.

.....Y muchas gracias a todos.

Resumen.

El presente trabajo es realizado en el área del jardín botánico, el cual pertenece a la Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas. Después de ser ejecutado un estudio preliminar de toda el área con el objetivo de elaborar un diseño de riego que facilitara la realización de un proyecto capaz de satisfacer las necesidades de agua del centro. Apoyándonos en el plano topográfico y con la ayuda de diferentes herramientas de cálculo, buscando lograr el correcto funcionamiento de los parámetros requeridos y así lograr la conducción del agua hasta los árboles plantados en el lugar de forma eficiente.

Después de cumplir con todo lo antes mencionado logramos realizar un proyecto que comprende y tiene en cuenta los cálculos necesarios para realizar un riego de calidad y sostenibilidad para el entorno medioambiental del jardín botánico. Evitando daños en el ecosistema con la posterior ejecución del proyecto presentado y dando solución a la tarea técnica planteada.

Abstract.

The present work is carried out in the area of the botanical garden, which belongs to the Central University Marta Abreu of The Villages. After being executed a preliminary study of the whole area with the objective of elaborating a watering proposal that facilitated the realization of a project able to satisfy the necessities of water of the center. Relying on the topographical plan and with the help of different calculation tools looking for to achieve the correct operation of the required parameters and this way to achieve the conduction of the water until the trees planted in the place in an efficient way.

After fulfilling all the ones mentioned we are able to carry out a project that she understands and she keeps in mind the necessary calculations to carry out a watering of quality and sostenibilidad for the environmental environment of the botanical garden. Avoiding damages in the ecosystem with the later execution of the presented project and giving solution to the technical outlined task.

Índice

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ESTUDIO DE ANTECEDENTES.....	4
1.1 Jardín Botánico de la Universidad Central «Martha Abreu» de Las Villas.	4
1.2 El uso del agua en el diseño de Jardines Botánicos.	6
1.3 Conceptos básicos de Riego.....	8
1.4 Métodos de Riego.	12
1.4.1 Riego Superficial.	13
1.4.2 Riego Presurizado.....	16
1.5 Plan y necesidad de Riego de un Jardín Botánico.....	22
1.6 Red de distribución.....	23
1.7 Equipos de impulsión.	27
CAPITULO II. Criterios a considerar en el diseño del sistema de riego.	28
2.1 Datos necesarios para el Diseño.....	28
2.2 Diseño de Sistema de Riego.....	29
2.3 Parámetros de Diseño.....	33
2.4 Elección del diámetro adecuado en Tuberías y Accesorios.	35
2.5 Presión Total.....	35
2.6 Elección del equipo de bombeo.	36
2.7 Potencia requerida.	37
2.8 Cálculo de la bomba de ariete.....	37

CAPITULO III. Análisis de Resultados, Red y Costos.....	39
3.1 Diseño de las áreas para el riego.....	40
3.1.1 Diseño del área de plantas medicinales.....	40
3.1.2 Diseño del área de frutales.....	42
3.1.3 Diseño del área del Vivero.	44
3.1.4 Diseño del área de plantas umbrofilas.	46
3.1.5 Diseño del área de la casa de cultivos.	48
3.2 Cálculos Hidráulicos.....	50
Conclusiones.....	58
Recomendaciones.....	59
Referencias bibliográfica.	60
Anexos.....	62

Introducción

Hace algunos años atrás el recurso agua se pensaba inagotable, hoy en días las crecientes necesidades tanto industriales como agrícolas, además de las referentes al consumo humano, hacen del agua un bien escaso. Por ese motivo su utilización para los riegos debe ser contralada y de especial relevancia a las acciones orientadas a la optimización del uso y la gestión del agua de riego, haciendo un uso eficiente de la misma.

De igual forma, también se es consciente de la necesidad de cubrir la demanda de formación con vistas a conseguir una adecuada capacitación para las plantas, que requiere adaptarse a las nuevas tecnologías, procedimientos, actitudes y preocupaciones de la actualidad, uno de los factores que inciden en esta demanda creciente es el incremento de las superficies ajardinadas en regiones áridas y semiáridas las cuales necesitan aporte de agua de riego.

Paralelamente al incremento de la superficie y, en consecuencia, de la demanda de agua, existe un gran desconocimiento en las necesidades hídricas reales de las plantas de jardines, en los criterios de diseño de las instalaciones y en el manejo de los propios riegos, lo que contribuye a realizar riegos poco eficientes y con excesivo consumo de agua, esta situación frecuente se agrava aún más en periodos de sequía en los cuales se limitan los riegos en los jardines, donde por un deficiente diseño, las plantas no pueden resistir situaciones de falta de agua y se llega a situaciones irreversibles.

Es muy importante el diseño y mantenimiento de los mismos y que se conozcan las prácticas racionales del riego, necesidades de agua de las plantas, instalaciones de riego, calidad del agua y manejo de los riegos, de manera que en un futuro no lejano se pueda afirmar que los jardines no son derrochadores de agua, e incluso que de forma generalizada usan agua no apta para el consumo humano. Sólo de esta forma se puede expresar con seguridad que los jardines no compiten por el agua sino que realizan un uso plenamente eficiente de esta.

La Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas, el Jardín Botánico no cuenta con un sistema de riego establecido capaz de satisfacer la demanda de agua de las plantas, el

regadío se realiza utilizando el agua procedente de la conductora Minerva–Ochoita almacenada en la planta de tratamiento del centro, desde donde se bombea el agua hacia toda la universidad incluyendo el jardín botánico, el cual recibe esta agua para abasto de la instalación.

El riego se emplea de forma manual por los trabajadores del lugar con esta misma agua, lo que dificulta llevar de forma eficiente el agua hacia la totalidad de áreas del jardín, lo que imposibilita el desarrollo de las variedades de plantas existentes en él, esta agua contiene desinfectantes químicos higiénicos como el cloro, producto de su función social, el cual es perjudicial para el correcto desarrollo del ciclo vegetativo de las especies de plantas del lugar.

Producto de esta problemática se ha dado la tarea presentar un diseño de sistema de riego en el área del Jardín Botánico, la cual suministre agua desde una fuente totalmente limpia de residuos químicos para evitar la aplicación del riego con agua tratada químicamente por el acueducto de la Universidad, violando los parámetros establecidos por el CITMA para riego de jardines botánicos. Y la otra para agregar un sistema de riego totalmente eficiente y autónomo que sea capaz de suplir las necesidades hídricas de las plantas.

Problema Científico.

El Jardín Botánico de la Universidad Central «Marta Abreu» de las Villas no cuenta con un sistema de riego, por lo que se afecta el ciclo vegetativo de algunas plantas, provocando que el coeficiente de marchitez se eleve causando el deterioro paulatino de varias especies.

Hipótesis.

Si se emplea una técnica de riego, sobre la base de las condiciones del clima, el suelo y necesidades de las diferentes especies vegetales, entonces es posible suplir las necesidades de agua para las variedades de plantas actuales y futuras del Jardín Botánico de la Universidad Central «Marta Abreu» de las Villas.

Objetivo general.

Diseñar un sistema de riego para el Jardín Botánico de la Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas, el cual logre un progreso en el metabolismo de las plantas durante el movimiento de agua en la fotosíntesis y su ramificaciones (raíces laterales), que pueda ayudar a proporcionar nutrientes a las plantas.

Objetivos específicos.

- Establecer el marco teórico de la investigación de los diseños de riego para plantas sembradas en Jardines Botánico.
- Determinar el tipo de suelo predominante en el área del Jardín Botánico de la Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.
- Trazar las áreas a regar a partir del estudio topográfico y basado en las necesidades hídricas de las plantas establecidas en el Jardín Botánico de la Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.
- Realizar el esquema de la red hidráulica del área como propuesta de riego en el Jardín Botánico de la Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ESTUDIO DE ANTECEDENTES.

1.1 Jardín Botánico de la Universidad Central «Martha Abreu» de Las Villas.

La creación del Jardín Botánico de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas comenzó a gestarse relativamente poco tiempo después de los inicios de las actividades de la Universidad, con el propósito de dotar al campus universitario de una diversidad de flora que la convirtiera prácticamente en una universidad jardín. Las primeras plantas se sembraron en el año 1956 a orillas del Río Ochoa. A medida que se fueron diseñando y construyendo las diferentes áreas universitarias, se introdujeron numerosas especies vegetales con valores fundamentalmente ornamentales.

Desde su inicio, el jardín se fue enriqueciendo con plantas procedentes de diferentes fuentes como, del Jardín Botánico de Cienfuegos, rico en especies procedentes de los cinco continentes, de la Estación Experimental de Santiago de las Vegas en la provincia de La Habana, de diferentes zonas de la región central del país, en particular de Topes de Callantes y de viveros particulares, de la Finca Victoria en el municipio de Placetas.

El Jardín Botánico de la UCLV (JBUC) fue fundado oficialmente en 1956 como parte de las dependencias de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y subordinado a su Departamento de Agronomía, con fines docentes y para dar respuesta a las necesidades de las carreras de Agronomía y Biología (esta última no se estableció en definitiva hasta el curso 2006-2007) y su planeamiento interno se estableció mediante el empleo del ordenamiento sistemático. Su tipología responde a la de un arboretum constituido por zonas didácticas organizadas por familias, la colección de moráceas y un área de bosque con especies forestales y frutales. Se mantuvo un desarrollo ascendente, aunque con altas y bajas, durante las décadas de los 50 hasta los 70.

En el Jardín se llegó a desarrollar un arboretum de unas 10 ha constituido por plantas de aproximadamente 750 especies vegetales, pertenecientes a unas 70 familias botánicas. Desde sus inicios se construyó una edificación con estilo modernista de muy buenas condiciones para el trabajo docente y científico, constituida por un aula, un laboratorio de botánica, un herbario, una espermoteca (colección de semillas), una carpoteca (colección de frutos) y una xiloteca (colección de maderas. Parejamente se

desarrolló un herbario que llegó a ser el tercero en importancia del país, con alrededor de 10000 ejemplares de especímenes pertenecientes a la Flora de Cuba.

Hasta la década del 70 el herbario tuvo una sostenida actividad de colecta y mantenimiento de su colección. A mediados de la década del 80 quedó sin atención especializada durante unos 20 años. A partir de los años 80 hasta el 2003, el Jardín Botánico junto a su herbario, sufrió un deterioro de sus colecciones por razones diversas, asociadas al retiro de las actividades docentes de las carreras agropecuarias hacia instalaciones más distantes, la jubilación o muerte de los principales profesores vinculados al desarrollo del Jardín, la llegada del período especial y otras, que unidas a la ausencia de una plantilla fija de trabajadores en dicha instalación, agravaron su situación.

Varios fueron los intentos por salvar esta joya universitaria, pero nunca fue posible pasar más allá de acciones, que solo permitieron la conservación de algunos de sus principales valores y al menos mantener las relaciones de trabajo con instituciones similares del resto del país y algunas extranjeras. A finales de los años 80 se renueva el interés por recuperar el jardín botánico y se crea un Consejo Técnico Provincial que incluía especialistas de la UCLV, el Instituto Superior Pedagógico (ISP), la Unidad de Medio Ambiente (UMA), el Instituto de Planificación Física (IPF) y otras instituciones de Villa Clara que concibió una serie de ideas sobre lo que sería el Jardín Botánico de Villa Clara a partir de la expansión del actual, proponiendo zonas y definiendo el territorio que ocuparía unas 120 hectáreas. Se elaboró para ello un mapa que se conserva en el JBUC.

Recientemente, en el Jardín Botánico, perteneciente aun a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UCLV fue creado el Centro de Estudios Jardín Botánico de Villa Clara (JBVC), con importantes tareas y resultados en el orden docente, científico y de extensión universitaria. El status legal actual se logra cuando se aprueba en diciembre del 2003, la nomenclatura de Centro de Estudios y en diciembre del 2005 se inscribe en el Registro de Entidades de Ciencia e Innovación Tecnológica del CITMA como Unidad de Desarrollo Científico-Tecnológico.

El JBVC mantiene actualmente relaciones con otros 12 centros similares del país que integran la Red de Jardines Botánicos de Cuba, creada en 1990 por la Academia de Ciencias de Cuba y se han retomado las relaciones con instituciones extranjeras similares.

En el marco de estas relaciones se reciben con cierta frecuencia especialistas cubanos y extranjeros interesados en la flora cubana y en los fondos de nuestro herbario.

Los sistemas de riegos se establecen en base a las necesidades de las plantaciones existentes teniendo en cuenta las normas que traen aparejadas para una mayor eficiencia del ciclo productivo.(Orozco 2010)



Foto: 1 Area del Jardín Botánico de la Universidad «Marta Abreu» de Las Villas.

1.2 El uso del agua en el diseño de Jardines Botánicos.

El agua es el principal componente de las plantas, es un elemento imprescindible para la vida de las mismas y constituye el principal medio de disolución y transporte de las sustancias nutritivas que existen en el suelo. Además, el agua es un elemento decisivo en los procesos de crecimiento y desarrollo de las especies, así como en los de regulación térmica, ya que les permite una correcta “refrigeración” para adaptarse a las distintas condiciones climáticas. El consumo de que tenga lugar en el jardín dependerá del tipo de

plantas (no todas necesitan la misma cantidad) y de la climatología, especialmente de la radiación solar, temperatura, lluvia, humedad y viento dominante.

Sin embargo, en las necesidades de riego del jardín también influirá el tipo de suelo, que determinará la mayor o menor cantidad de agua almacenada y la dificultad con que las plantas la extraigan.

Para que todas las plantas del jardín evolucionen de forma óptima y todo el conjunto mantenga constantemente su belleza, es necesario conocer de manera bastante precisa la cantidad de agua a aplicar así como el momento de riego más adecuado y la forma más idónea para una distribución homogénea, ya que el agua es un componente del jardín que forma parte estructural de su función, al tiempo que es un elemento vital para las plantas que lo componen, ya que entra a formar parte de procesos tan importantes como la nutrición, la regulación térmica o el transporte de sustancias.

Esto hace que el riego sea esencial para el correcto mantenimiento de los jardines, el diseño de un jardín eficiente en el uso del agua debe ir orientado a la optimización del uso del agua y por tanto a un ahorro real de la misma, debe ir precedido de un estudio del suelo, de la calidad del agua de riego y de la pluviometría de la zona, a fin de seleccionar las especies que formarán parte del jardín, el sistema de riego más adecuado, y las pautas de manejo a seguir para evitar pérdidas de agua por filtración profunda, escorrentía o evaporación. Los estudios previos al diseño también deben recoger información acerca de la topografía del terreno, de la existencia o no de drenajes, y de la vegetación e infraestructura existente en la zona de emplazamiento del jardín.

Dos aspectos importantes para realizar un adecuado uso del agua en un jardín son el cálculo de las necesidades hídricas del mismo, y el control del consumo efectivo de agua, mediante la instalación de equipos de medida.

El consumo de agua de un jardín estará condicionado en gran medida por su diseño, ya que, por ejemplo, la mezcla de especies con necesidades hídricas diferentes en una misma zona, hace necesaria la aplicación de cantidades de agua por encima de las necesidades de algunas plantas de dichas especies, lo que además de ocasionarles problemas fisiológicos, supondrá un consumo de agua superior al realmente necesario.

Uno de los aspectos más importantes a la hora de diseñar un jardín eficiente en el uso del agua es su división en áreas de requerimientos hídricos similares o hidrozonas.

La cantidad de agua empleada en los procesos de transpiración y evaporación suele considerarse de manera conjunta por la dificultad de calcularlas por separado. Por tanto, se considera que las necesidades de agua de las plantas de un jardín están representadas por la suma de la evaporación directa desde el suelo y de la transpiración de las plantas, en lo que se denomina evapotranspiración (ET). (INRH 2007, Rincón Suso 2007)



Figura 2: Necesidad de agua de las plantas.

Para reducir un exceso consumo de agua se debe suprimir el aporte de fertilizantes, ya que la cantidad de agua que la planta requiere es mayor al fomentarse su desarrollo, se debe eliminar los frutos, siempre que sea posible, ya que consumen gran cantidad de savia, emplear antitranspirantes, pulverizados sobre las plantas para disminuir la transpiración. Realizar riegos profundos para disminuir la evaporación en los espaciados y aplicar podas de reequilibrio.(INRH 2007, Rincón Suso 2007, Pochettino, Arenas et al. 2008, Cabrales and García 2013, RIEGO 2015)

1.3 Conceptos básicos de Riego.

Sistema de Riego se denomina, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas.

El sistema de riego consta de una serie de componentes. Sin embargo debe notarse que no necesariamente el sistema de riego debe constar de todas ellas, el conjunto de

componentes dependerá de si se trata de riego superficial, por aspersión, o por goteo. Se conoce como la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer en éste el agua consumida por las plantas entre dos riegos consecutivos.(INRH 2007, Villasante 2009, RIEGO 2015)

La uniformidad de aplicación se refiere al hecho de que el agua distribuida llegue por igual a todos los puntos de la parcela regada. Una buena uniformidad garantiza que todas las plantas estén bien regadas, sin que unas reciban agua en exceso y a otras les falte, asegurándose así el desarrollo homogéneo del cultivo y su máxima capacidad productiva. La uniformidad de aplicación es una característica propia de cada instalación y parcela. Se puede estimar mediante mediciones en campo y se expresa mediante un porcentaje. Un coeficiente de uniformidad del 80% indicaría que el 80% de la parcela ha recibido la cantidad de agua deseada, mientras que el 20% restante ha sido regado en más o menos cantidad.

El viento es un factor negativo ya que disminuye la uniformidad de aplicación del agua lanzada por el aspersor. Cuanto mayor sea la velocidad del viento mayores son las pérdidas por evaporación y arrastre de las gotas de agua. En zonas típicas de viento, siempre que sea posible, se recomienda situar los aspersores o los difusores en un marco triangular para conseguir mayor uniformidad de aplicación, o bien situarlos en un marco más reducido que en aquellas zonas donde los vientos no sean un factor limitante de la uniformidad de aplicación. (INRH 2007, Rincón Suso 2007, Villasante 2009)

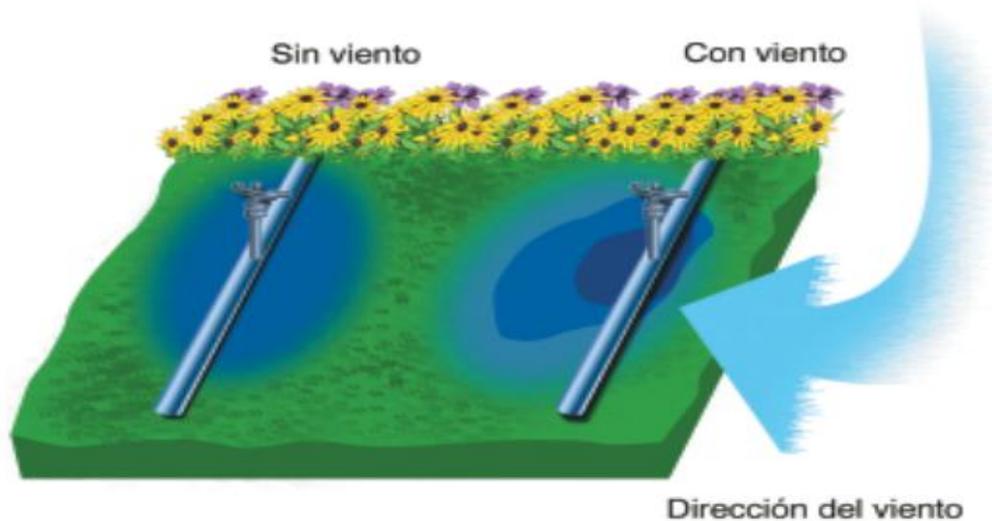


Figura 3: Efecto del viento en la distribución del agua.

La eficiencia de la aplicación depende del volumen total de agua destinada a riego que sale de un punto de suministro, como por ejemplo una balsa o pozo, no todo va a ser aprovechado por las plantas, sino que por diversas causas parte no llegará a su destino.

La relación entre estas dos cantidades de agua (la que sale del punto de suministro y la que realmente aprovechan las plantas) es lo que se denomina eficiencia de aplicación. Se expresa mediante un porcentaje. Una eficiencia del 75% indica que del total del agua bombeada por un pozo sólo el 75% la tomarán las plantas y el 25% restante tendrá destinos diferentes

En el proceso de riego, las pérdidas ocurren en diferentes momentos, pudiendo clasificarse en los siguientes grupos:

Las pérdidas de aplicación engloban a todas las que tienen su origen en la instalación dentro de la parcela de riego. Cabe mencionar tanto las fugas de tuberías como la evaporación que, bajo condiciones de viento y altas temperaturas, tiene lugar en el chorro de los emisores, en las hojas mojadas del cultivo o en la lámina superficial de agua.

Las pérdidas de transporte son las que ocurren en las conducciones, desde el punto de suministro hasta la parcela de riego. Aquí se incluyen desde las fugas en tuberías y canales hasta la evaporación en el caso de las conducciones abiertas.

En las pérdidas del suelo una vez que el agua puede escurrir al superarse su capacidad de infiltración o al encontrarse saturado, e incluso escapar de la profundidad de acción de

las raíces percolando a capas profundas. Al igual que ocurre con la uniformidad, la eficiencia de aplicación es una característica propia de cada instalación.

En la eficiencia influye el sistema de riego, el diseño de la instalación, su mantenimiento y su manejo. Por término general la eficiencia teórica del riego por goteo es de 85-95%, la del pivó va del 80 al 90%, en aspersión oscila entre 65-85% mientras que el riego a pie presenta eficiencias de entre el 30 al 70%.

Una vez conocida la necesidad real de agua de nuestro cultivo, habrá que tener en cuenta la eficiencia del sistema de riego empleado, para asegurar que llega a la planta la cantidad de agua deseada.

Cada modelo de aspersor viene caracterizado por unos datos técnicos que reflejan sus condiciones de trabajo ideales: presión nominal de trabajo (atmósferas), caudal de las boquillas (litros por hora), diámetro mojado (metros) y precipitación que producen (litros por metro cuadrado y hora).

Conocerlos es imprescindible para saber si se adecuan tanto a las características de una instalación como a las necesidades de riego de un cultivo según se muestran en la figura a continuación.(DE TÍTULO and JORQUERA , Gurovich 1985, González Baucells and Méndez 2004, INRH 2007, Rincón Suso 2007, Villasante 2009, RIEGO 2015)



Figura 4: Pérdidas en la distribución del agua de riego.

Como inconvenientes del Riego tenemos las pérdidas de agua, que se dan por no llegar a la zona de raíces, y es causada por percolación profunda, es decir cuando se escurre el agua por sobrepasar la velocidad de infiltración del agua al suelo, escurrimientos y evaporación. Estas mermas se presentan siempre, a pesar de que se calcula el requerimiento de agua de la planta y varían de acuerdo con el sistema de riego.(Mérida 2006, Rincón Suso 2007, Villasante 2009, Vargas and Escobar 2015)

La contaminación del agua ocurre principalmente cuando se ha sobreestimado el requerimiento de riego de una planta, ya que una buena fracción de los agroquímicos disueltos en agua se mueven con el agua se mueve, como es el caso de la mayoría de los fertilizantes nitrogenados que son una amenaza ambiental cuando éstos llegan a los mantos acuíferos.(Rincón Suso 2007, Villasante 2009, Takaezu Romero 2017)

Las sales son benéficas para las plantas, pero cuando se acumulan en concentraciones mayores de 5 g/l aumentan la presión osmótica del agua; es decir, las plantas realizan un mayor esfuerzo para absorber tanto el agua, el: calcio (Ca), azufre (S), hierro (Fe) y manganeso (Mn), y en su lugar se asimilan grandes cantidades de sodio (Na), cloro (Cl) y magnesio (Mg), disminuyendo la evatranspiración y debilitando el proceso de fotosíntesis. Todo esto provoca un retraso en el crecimiento de las plantas y el descenso del rendimiento de las cosechas.(INRH 2007, Villasante 2009)

El problema de salinidad de tierras puede ser originado por distintas causas. Puede ser que el agua ya se encuentra salinizada, o porque el cultivo solamente evapotrasnpira agua pura, aun cuando el agua sea de buena calidad. Hay también causas geográficas, que se producen porque las zonas con clima caluroso y seco son más propensas a tener tierras salinizadas.(INRH 2007, Villasante 2009)

-Finalmente la falta de un drenaje adecuado puede aumentar la salinidad, ya que sin la evacuación adecuada el riego siempre irá acompañado con el aumento de la recarga del manto freático o capas profundas del suelo, las cuales ascienden hacia la superficie y provocan la salinización y alcalinización de los suelos.(INRH 2007, Villasante 2009)

1.4 Métodos de Riego.

Se diferencian por la forma en que se aplica el agua en el suelo. Actualmente existen tres métodos básicos: superficial, en el que el agua se aplica sobre la superficie del suelo; presurizado o localizado, el agua es conducida a presión por tuberías, hasta un emisor en el punto de aplicación; y subsuperficial, en el que el agua se aplica por debajo de la superficie del suelo. Los sistemas de riego más importantes para cada método son el sistema de riego por gravedad (superficial), los sistemas de riego por aspersión, microaspersión y goteo (presurizado) y el riego subterráneo (subsuperficial).(INRH 2007, Villasante 2009, RIEGO 2015, Vargas and Escobar 2015)

1.4.1 Riego Superficial.

El riego superficial, gravitacional, es aquel en que el agua se aplica en la superficie del suelo y se distribuye en el campo por gravedad a través de la diferencia de cotas o altura existentes en el terreno a regar. En estas condiciones, el caudal de agua de riego se distribuye a lo largo del campo.

Así se produce algún grado de escurrimiento al final del paño de riego, la magnitud de este escurrimiento dependerá, entre otros factores, del caudal que se aplique y de las características de infiltración del suelo.

El objetivo de un adecuado diseño de riego superficial está enfocado a dos aspectos. En primer lugar, busca disminuir las pérdidas de agua que se producen por escurrimiento al final del paño de riego, como aquellas que se producen por percolación del agua más allá de la profundidad en que se ubican las raíces de las plantas. (Villasante 2009)

Por otra parte, permite una mejor distribución del agua en el suelo, favoreciendo un desarrollo parejo del cultivo, lo que redundará en mayores y mejores rendimientos. Es necesario tener presente, que el paso previo a realizar un adecuado diseño del riego superficial, es la nivelación de los suelos a regar. De acuerdo a la eficiencia este tipo de riego se puede realizar de diferentes formas las cuales vemos a continuación:

Tabla: 1 Métodos de Riego.

MÉTODO DE RIEGO % de EFICIENCIA	
Riego por tendido	20 – 30
Riego por surco	40 – 70
Riego por platabandas o bordes	50 – 70

El riego por tendido es el método más sencillo y antiguo, pero a la vez el más ineficiente, consiste en derramar agua desde una reguera construida a lo largo del extremo superior de un campo en pendiente, se deja que el agua escurra sobre la superficie del terreno por libre acción de la fuerza gravitacional, y se colocan regueras interceptoras en 151 sentido

perpendicular a la pendiente para recoger el agua que tiende a acumularse en las depresiones y redistribuirla más uniformemente. Se puede utilizar en terrenos con pendientes menores a 2 % y hasta 6 % si se trata de praderas.(Villasante 2009)

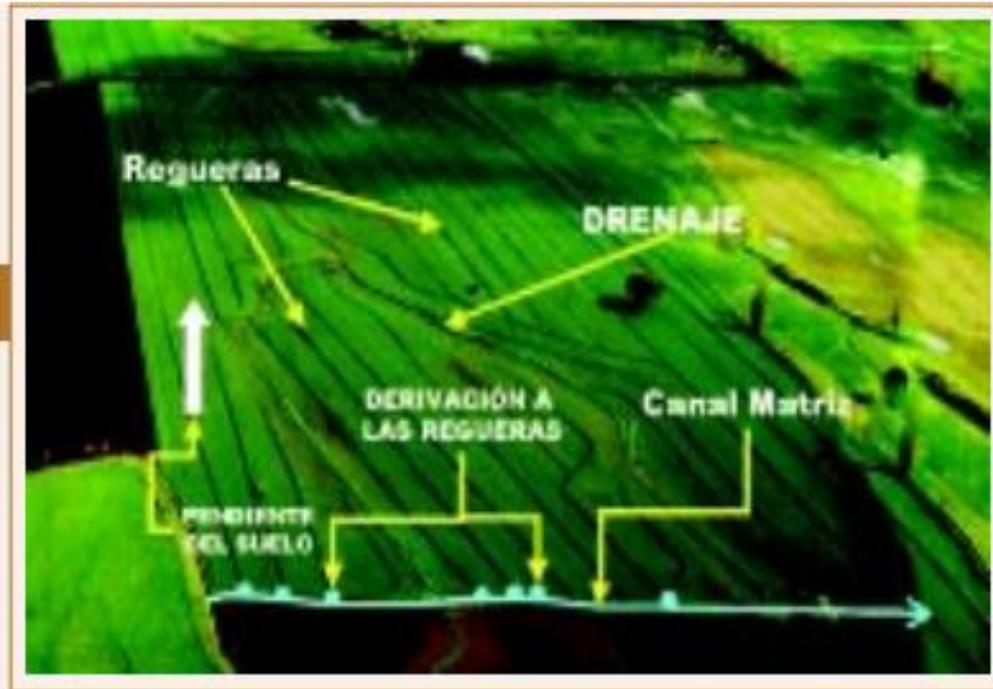


Figura 5: Croquis descriptivo del riego tendido o tradicional.

El riego por surcos consiste en la entrega de agua desde una acequia madre a pequeños canales o surcos ubicados en las hileras de siembra o plantación. Se adapta a cultivos sembrados en hileras como hortalizas, chacras y frutales en general. En este, a diferencia del riego por tendido por ejemplo, se moja sólo una fracción de la superficie del suelo (normalmente entre 1/5 y 1/2).

Sin embargo, se debe mojar todo el suelo explorado por las raíces de las plantas. Esto se logra colocando los surcos a una distancia adecuada unos de otros, regulando su largo y aplicando tiempos de riego apropiados. En cuanto a las prácticas de laboreo, éstas pueden incidir en la forma del surco. El diseño debe contemplar los siguientes aspectos: Espaciamiento entre surcos, Forma de surcos, Largo de surcos, Caudal a aplicar y Tiempo de riego.(Gurovich 1985, Gurovich and Luis 1997, González Baucells and Méndez 2004)



Figura 6: Riego por Surcos.

Riego por bordes consiste en aplicar el agua por una platabanda ancha, delimitada por camellones o pretilos, se adapta bien para el riego de cultivos tupidos como en el caso de las praderas, en algunas situaciones también se puede emplear en frutales y viñas, ubicando las plantas sobre los camellones, requiere de una buena nivelación de suelos, tanto en el sentido del riego para que el agua escurra sin problemas, como en sentido transversal.

De este modo el agua se distribuye uniformemente a todo el ancho de la platabanda, la nivelación en sentido transversal a los bordes debe ser cuidadosa, de modo que entre un lado y otro de ella quede, como máximo, una diferencia de nivel de 4 cm, por otra parte, entre una platabanda y otra no debe existir un desnivel mayor de 10 cm.(Talens 2009, Villasante 2009)



Figura 7: Riego por Bordes o Platabanda.

1.4.2 Riego Presurizado.

El riego por aspersión se caracteriza por aplicar el agua de riego en forma de lluvia, para obtener este resultado se hace pasar agua por de riego a través de pequeños orificios, necesitando para ello de considerables presiones .obtenidas por equipos de bombeo o por grandes desniveles. Debido a la efectividad de su uso y el eficiente control en la aplicación del agua, este método permite el riego de una amplia gama de suelos que no pueden ser regados adecuadamente y eficientemente con métodos tradicionales.

El tamaño del potrero a regar es importante porque define a qué tipo de equipo de riego se puede optar. En predios pequeños se puede utilizar equipos móviles, semifijos o fijos. En el caso de superficies mayores pueden usarse los mismos que para superficies pequeñas, pero es más conveniente instalar pivotes o laterales de avance frontal.

Encaso intermedio (sobre 20 ha) se puede optar por equipos como los carretes. Finalmente, no se debe olvidar que el riego por aspersión es del tipo tecnificado, por lo que requiere de operadores capacitados que sean capaces de utilizar los equipos en buena forma.

En condiciones donde la mano de obra es reducida, el riego por aspersión es una alternativa que se debe contemplar. El agua se distribuye en el campo en forma de llovizna artificial, con la finalidad de reproducir una lluvia natural, por medio del rociado del agua

sobre la superficie del suelo a través de equipo especiales de rociado. La eficiencia de riego para este sistema de riego es en promedio de 85%. Se utiliza con preferencia en las zonas de humedad inestable y por lo general para irrigar cultivos de hortalizas, forrajes y frutales, y para suelos ligeros y de poca potencia en terrenos cultivables.(Martín-Benito 1992, Costa 2001, Villasante 2009, Vovides, Linares et al. 2010, Sedamanos and Angel 2012, RIEGO 2015)

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia de aplicación del agua, 80%; y uniformidad en su penetración en el perfil del suelo. - Posibilidad de regular con precisión la profundidad de humectación del suelo. - Posibilidad de utilizarlo en un microrelieve complejo y en pendientes elevadas. - Humedecimiento no sólo del suelo, sino también de las plantas, lo que provoca un aumento de la humedad de la capa superficial de suelo, lo cual disminuye la intensidad de la evaporación y también influye positivamente en el desarrollo fisiológico de las plantas. - Creación de condiciones para un nivel más alto de mecanización de los procesos agrícolas en los campos. - Aseguramiento de un coeficiente más alto de aprovechamiento de la tierra del territorio irrigado y del rendimiento del sistema de riego. 	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene costo inicial relativamente alto. -El viento puede distorsionar por completo la distribución de agua bajando su eficiencia. -El agua de riego necesita de una filtración previa, para impedir el paso de materiales abrasivos como la arena hacia las boquillas de descarga. -El impacto de la lluvia en las flores de la planta puede causar su caída. -los costos de operación son más elevados que en otros riegos por necesitar presiones de trabajo mayor.

Los aspersores son toberas de un mecanismo que les permite rotar sobre su eje utilizando para esto la fuerza del agua. Para su funcionamiento necesitan de ciertas presiones que se hacen mayores a medida que sea necesario que aumenta el caudal o área de mojado. Tanto el caudal como el área dependen del diámetro de la boquilla de salida del aspersor, pueden tener hasta tres boquillas las que varían su ángulo de salida cubriendo todo el radio de riego.



Figura: 8 Aspersor.

Una forma simple de clasificar los sistemas de aspersion es de acuerdo a la movilidad de los elementos que lo componen, facilitando, así la comprensión de su funcionamiento.

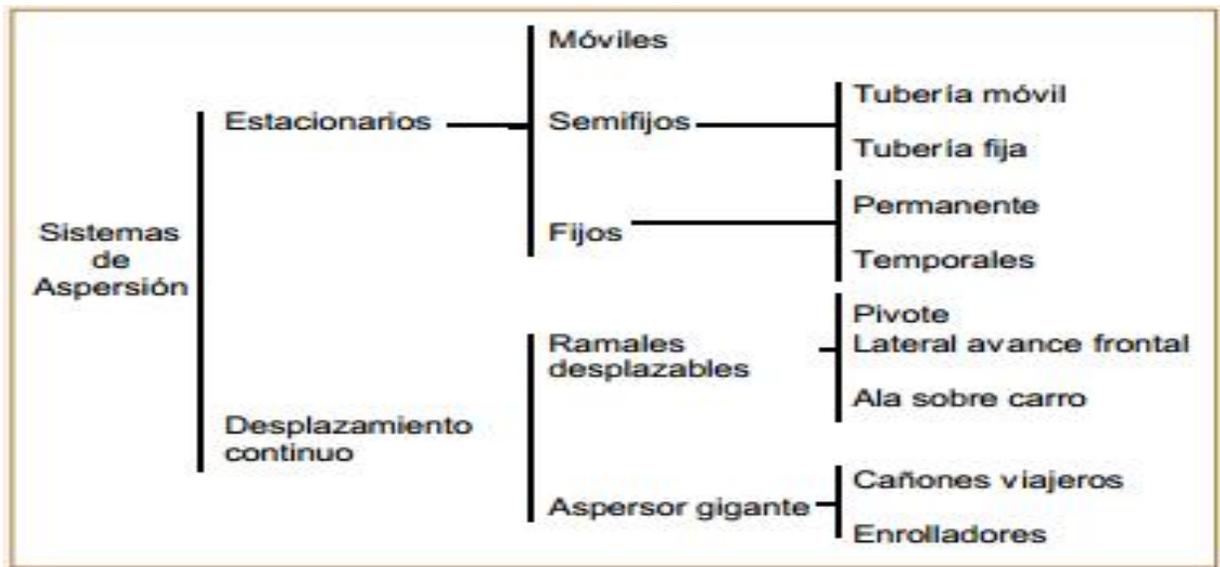


Figura 9: Sistema de Aspersión.

El Riego por Goteo se basa en el aporte continuo de agua sobre la superficie del suelo, utilizando tuberías a presión y emisores de diversas formas, de manera que sólo se moja una parte del suelo, la más próxima a la planta, la salida de agua por los emisores se produce con muy poca o nula presión, a través de unos orificios, generalmente de muy pequeño tamaño, mojando un volumen de suelo que recibe el nombre de bulbo húmedo.

El agua es transportada a través de una extensa red de tuberías hasta cada planta donde abandonan la línea por emisores en forma de gotas, estos emisores son los goteros, los que disipan la presión del sistema por medio de un orificio de pequeño diámetro o por un laberinto de largo recorrido, permitiendo descargar al suelo, desde el sistema solo unos pocos litros por hora en cada emisor.

Después de dejar el gotero el agua se distribuye gracias a su movimiento normal a través de todo el perfil del suelo producto a la gravedad, de esta manera el volumen de suelo que puede ser mojado por cada punto emisor está limitado por las restricciones físicas del suelo como textura y estructura. (Gurovich and Luis 1997, Rosano Méndez, Rendón Pimentel et al. 2001, Talens 2009, Vargas and Escobar 2015, Gómez, Gómez et al. 2017, Takaezu Romero 2017)

En los jardines con sistemas de riego localizado se debe aplicar el agua en cantidades pequeñas y con alta frecuencia, es decir, dar un número de riegos elevado, en los que el

aporte de agua en cada uno sea reducido. De esta forma se intenta mantener el contenido de agua en el suelo en unos niveles casi constantes y se evitan grandes fluctuaciones de humedad. Así, el agua estará permanentemente en el suelo en unas óptimas condiciones para ser extraída por la planta, pero en un volumen reducido, por lo que el suelo ocupará un papel más importante como soporte físico para las plantas que como almacén de agua.

En los caso de jardines con vegetación arbórea y en aquellos en los que el suministro de agua no esté asegurado durante todo el año, la aplicación de agua con alta frecuencia puede crear problemas de anclaje del sistema radicular al suelo, o falta de resistencia en periodos en los que el suministro de agua se vea dificultado, por una sequía o por cortes en el suministro (averías en la red, obras en una zona próxima al jardín, etc.).

Por ello, en estos casos será más interesante aplicar frecuencias de riego más bajas y dotaciones más altas, a fin de aumentar el volumen del bulbo húmedo y la profundidad de las raíces.

Con el riego localizado se puede lograr un elevado grado de automatización, llegándose en ocasiones a un funcionamiento casi autónomo de todo el sistema. Gracias a esto, se consigue automatizar operaciones como limpieza de equipos, apertura o cierre de válvulas, fertilización, etc.

El riego localizado ofrece numerosas ventajas fundamentadas principalmente en la aplicación del agua directamente en la zona más próxima a las raíces. Este sistema de riego también cuenta con algunos inconvenientes, de fácil solución si se lleva a cabo un adecuado manejo del mismo en la tabla a continuación se establecen las ventajas y los inconvenientes de este tipo de riego.(Gurovich and Luis 1997, Rosano Méndez, Rendón Pimentel et al. 2001, Talens 2009, Vargas and Escobar 2015, Gómez, Gómez et al. 2017, Takaezu Romero 2017)

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> – Permite un uso eficiente y un ahorro de agua, ya que sólo se aplica en la zona de las raíces. – Las pérdidas de agua por escorrentía, percolación y evaporación son mínimas, lo que se traduce en una elevada eficiencia de aplicación. – Permite la aplicación de fertilizantes y algunos tratamientos químicos con el agua de riego. – Permite un gran control de del agua de riego y de los abonos aplicados. – Dificulta la aparición de malas hierbas en la zona no humedecida. – Al no mojar la parte aérea de las plantas disminuye el riesgo de determinados problemas sanitarios. – Permite la automatización. 	<ul style="list-style-type: none"> – Es un método que necesita una elevada inversión. – Si no se maneja adecuadamente se pueden producir problemas de salinidad en la zona del bulbo húmedo. – Requiere un elevado control y mantenimiento para su adecuado funcionamiento. – Los emisores que utiliza se obturan con cierta facilidad. – Puede ocasionar problemas de enraizamiento en árboles, si la frecuencia de riego no se maneja adecuadamente.

Los goteros son los dispositivos mediante los cuales el agua pasa de la red de la tubería al suelo y su función es entregar caudales en forma lenta y uniforme, están diseñados para entregar un caudal que varía entre 1 a 10 L/h dependiendo de las medidas del paso de agua del gotero.

Su función radica en hacer pasar el agua, desde el sistema al suelo, a través de pequeños orificios de largos recorridos, lo que provoca una pérdida de carga, producto al roce, haciendo la presión a la salida del gotero tenga un valor cercano a cero.



Un gotero de riego.



Distribución del agua con un gotero de riego.

Figura: 10 Goteros.

1.5 Plan y necesidad de Riego de un Jardín Botánico.

La elaboración de un plan de riego se concreta en la realización de un calendario en el que se determina el momento de efectuar los riegos y la cantidad de agua que se debe aplicar en cada uno de ellos. Para elaborar un calendario de riego pueden emplearse datos climáticos medidos en tiempo real o datos climáticos medios de varios años, que permita realizar una programación de los riegos para todo el año. En jardinería, la programación suele hacerse mediante calendarios medios con los que se determinan las necesidades de riego en periodos, normalmente quincenales, para todo el año. Para ello se necesitan los siguientes datos:

- Evapotranspiración de referencia y precipitación de la zona.
- Coeficientes de especie, densidad, microclima de las especies y de las hidrozonas consideradas.
- Tolerancia a la salinidad de las plantas empleadas.
- Eficiencia de aplicación del sistema de riego empleado.
- Salinidad del agua de riego.

Cuando se realizan calendarios medios de riego con la ayuda de datos históricos, es necesario considerar si la programación se va a realizar con los datos de un año seco, normal o húmedo. Si la previsión de precipitaciones consideradas resulta errónea, habrá

que rehacer el calendario, corrigiendo el dato pluviométrico, a fin de no aplicar agua en exceso o en defecto.

El sistema formado por el suelo y las plantas tiene unos aportes y unas salidas de agua, por lo general esas cantidades no son iguales, por lo que el contenido de humedad del suelo irá cambiando, las entradas de agua pueden ser debidas a la lluvia o al riego, las salidas de agua se deberán a la evapotranspiración, la escorrentía o la filtración profunda, se considera un sistema de riego bien diseñado en el que no existe escorrentía y en el que la filtración profunda sea nula, la cantidad de agua que necesita la planta y se ha de aportar con el riego, o necesidades netas de riego, en correspondencia a la diferencia entre la cantidad de agua que el conjunto suelo-planta pierde, la evapotranspiración y el agua que se aporta natural en forma lluvia. Sin embargo, el agua que se aporta al suelo con un riego no es aprovechada en su totalidad por la planta, sino que parte se pierde por escorrentía o filtración profunda. Por tanto, la cantidad de agua que se debe aportar con el agua de riego o necesidades brutas dependerá teniendo en cuenta una serie de factores como:

- La eficiencia de aplicación del riego.
- La fracción de lavado.

Debido a que los sistemas de riego no son totalmente eficaces, para el cálculo de las necesidades brutas de riego, es necesario considerar la eficiencia de aplicación del sistema o el porcentaje de agua que las raíces de las plantas aprovechan con respecto al total aplicado. Su valor dependerá del método de riego empleado, superficial o localizado. En general se puede considerar que la eficiencia de aplicación utilizando el riego localizado es de un 85-90%, mientras que en riego superficial hasta aproximadamente un 60%. En cualquier caso los valores de eficiencia dependerán en gran medida del manejo que se haga de los riegos.(Tijerina Chávez 1999, Mérida 2006, INRH 2007, Rincón Suso 2007)

1.6 Red de distribución.

La conducción del agua desde la toma o boca de riego hasta los emisores se realiza a través de las tuberías de la red de distribución. La unión entre estas tuberías para el montaje de la red y su adaptación a la forma de la zona a regar se lleva a cabo mediante las piezas especiales. Por otro lado, la evacuación de un exceso de agua en la zona de

raíces cuando el drenaje natural no es capaz de ello, se realiza a través de un sistema de tuberías o drenes que constituyen la llamada red de drenaje.

Las tuberías que forman parte de la red de distribución suelen nombrarse según su categoría, siendo la primaria la que parte de la boca o toma de riego, y secundarias y terciarias las que reparten el agua hasta los sectores de riego en que se divide el jardín. Las tuberías portadoras de los emisores de riego reciben el nombre de laterales, en el caso de riego localizado y ramales de aspersión, en el caso de riego por aspersión. (Rincón Suso 2007, Cabrales and García 2013, Gómez, Gómez et al. 2017, Takaezu Romero 2017)



Foto: 11 Red de distribución con los emisores.

Las tuberías que forman la red de distribución de agua, suelen estar fabricadas en materiales plásticos, fundamentalmente policloruro de vinilo (PVC) y polietileno (PE), por tratarse de materiales ligeros de fácil manejo, con poca rugosidad interior y con poca alteración ante fertilizantes y otras sustancias químicas. La elección de uno u otro material dependerá entre otros factores, del diámetro de la tubería y de si ésta va a ir o no enterrada. En general, las tuberías principales, de diámetro superior a 50 mm e instaladas en zanjas bajo tierra, son de PVC; por el contrario, para tuberías de un diámetro inferior a 50 mm y situadas en la superficie del terreno, se utiliza el PE.

Las tuberías de plástico empleadas en riego se suelen clasificar en función de varias de sus características, como son:

- Presión: hace referencia a la presión máxima de trabajo de la tubería a 20°C.
- Presión de trabajo: es el valor de la presión máxima interior a la que la tubería estará en servicio.
- Diámetro: hace referencia al diámetro exterior del tubo declarado por el fabricante.
- Espesor: es el grosor del tubo declarado por el fabricante.

El diseño hidráulico de una instalación de riego consiste en el cálculo de las dimensiones de todos los componentes que forman parte de ésta, de manera que se puedan satisfacer las necesidades hídricas de las plantas de la forma más económica posible, tanto desde el punto de vista del coste inicial de la instalación, como de los requerimientos energéticos de impulsión del agua en el transcurso del riego.

Es importante que el sistema de riego funcione adecuadamente, para que el reparto del agua se realice de la forma más homogénea posible. Para ello, se debe procurar que todos los emisores sean de buena calidad y estén en buen estado.

Además, es necesario que la presión con la que llega el agua a los emisores de un sector sea lo más homogénea posible, ya que el caudal aplicado por los emisores depende directamente de esta variable, excepto en el caso de que éstos sean autocompensantes. Una distribución homogénea de caudales redundará en una uniformidad de distribución adecuada. Para esto se debe realizar un plano a escala de la instalación de riego (el cual será mostrado en los anexos), en el que se indiquen claramente:

- Las distintas áreas de riego con sus correspondientes emisores.

- La pendiente del terreno.
- La toma de agua.
- La disposición de las tuberías.
- La disposición de las electroválvulas y el programador, si los hubiere, y del cable de unión entre ambos, si fuera necesario.

Una vez establecido el número de sectores de cada una de las áreas de riego, y por tanto el número de emisores y el caudal necesario en cada sector, se realiza el trazado de las tuberías y el dimensionado de éstas. La red de tuberías de riego suele jerarquizarse en orden ascendente, es decir, de menor a mayor diámetro, del siguiente modo:

- Ramales portaaspersores en riego por aspersión o simplemente tuberías laterales en el goteo, a las cuales irán conectados los emisores.
- Tuberías primarias, que irán directamente conectadas al cabezal de riego o a la toma de la red, y de las cuales se derivarán las secundarias.(Takaezu Romero 2017)



Foto: 12 Instalación hidráulica de las tuberías.

1.7 Equipos de impulsión.

El equipo de impulsión juega un papel importante en los riegos, ya que entrega la energía necesaria para que el sistema funcione. Está compuesto de una bomba, la mayoría de las veces centrífuga y un motor que la hace trabajar.

Las bombas son muy utilizadas en los sistemas de riego, existen infinitudes de modelos, los que dependen de la cantidad de agua a bombear por unidad de tiempo, la presión necesaria para hacer funcionar el sistema de riego o altura a elevar el agua y las características físicas del terreno donde se instala el equipo.

Todas las bombas poseen una curva de funcionamiento llamada curva de características de la bomba, la que se construye de acuerdo a dos variables la altura de impulsión (H) y el caudal (Q), para cada valor de altura corresponde un caudal y viceversa, a medidas que el caudal aumenta la altura decrece.



Figura: 13 Bombas Vogt.

CAPITULO II. Criterios a considerar en el diseño del sistema de riego.

2.1 Datos necesarios para el Diseño.

Tipo de planta: profundidad de las raíces, criterio de riego, Ke de la planta, tipo de riego recomendado, eficiencia de riego, densidad de plantación, numero de hileras y plantas por hileras.

Ubicación geográfica: evapotranspiración, características climáticas, velocidad del viento afectando la eficiencia del tipo de riego, características físicas del terreno, estructura, velocidad de infiltración, densidad aparente, punto de marchitez permanente, pendiente del terreno, y disponibilidad de energía.

El criterio de riego es un factor que se adopta para determinar el momento de aplicar un riego respecto del porcentaje de agua útil que posee el terreno. Si asumimos que cuando el terreno se encuentra en capacidad de campo el porcentaje de agua útil es de 100% y cuando está a punto de marchitez permanente corresponde al 0% de agua útil.(Vergara 2001)

Tabla: 2 Criterio de Riego.

Capacidad de Campo	100%	
	90%	A
Punto A	80%	G
	70%	U
Punto B	60%	A
	50%	
Punto C	40%	Ú
	30%	T
Punto D	20%	I
	10%	L
Punto de Marchitez Permanente	0%	

Los diferentes puntos indicados presentan la posibilidad de regar cuando el porcentaje de agua útil alcanza dichos valores y corresponden al criterio de riego a usar, existen otras opiniones las que prefieren determinar el momento de riego mediante el uso de equipos para medir la cantidad de humedad en el suelo.

2.2 Diseño de Sistema de Riego.

-Uso de consumo.

$$UC = Kc * Evt \quad \text{Ec.1}$$

donde:

Kc: coeficiente de la planta.

Evt: evapotranspiración.

-Lámina Neta.

$$LN = \frac{CC - PMP}{100} * Da * Cr * Pr * 1000 \quad \text{Ec.2}$$

donde:

LN: lámina neta.

CC: capacidad de campo (%).

PMP: punto de marchitez permanente (%).

Da: densidad aparente (gr/cc).

Cr: criterio de riego.

Pr: profundidad de las raíces (m).

-Requerimiento Bruto.

$$RB = \frac{UC}{\eta} \quad \text{Ec.3}$$

donde:

η : eficiencia del tipo de riego, (0 - 1).

UC: uso de consumo (mm).

-Frecuencia de riego.

$$FR = \frac{LN}{RB} \quad \text{Ec.4}$$

donde:

FR: frecuencia de riego (días).

RB: requerimiento bruto (mm/días).

-Elección del Tipo de Emisor.

Podemos decir que los parámetros de decisión dependen del tipo de planta, tipo de suelo, clima y el factor económico.

Para un mismo caso se puede elegir entre emisores que entreguen un bajo caudal individual, siendo la suma de sus caudales satisfactoria para el abastecimiento de agua, o un solo emisor que entregue el caudal de todos (Vergara 2001).

-Pérdida de Carga en Emisores.

Como se dijo anteriormente los distintos tipos de emisores para que puedan operar necesitan presión, siendo esta la pérdida de carga del emisor. Esta información acompaña a los emisores en los catálogos de fabricantes, donde se entrega una curva caudal versus pérdida de carga del emisor. (Vergara 2001)

- Elección de Goteros.

Para la elección de un tipo de gotero se recomienda:

-Goteros autocompensantes para terrenos desnivelados.

-Cintas de riego para las diferentes tipos de plantas en los viveros e invernaderos.

-Mangueras de larga duración con goteros insertados para plantas de vida extensa (viñas frutales, etc.).

$$TAAG = \frac{Qg}{(Dl * Dg)} \quad \text{Ec.5}$$

donde:

TAAG: tasa de aplicación de agua del gotero (mm/h).

Qg: caudal de entrega del gotero (L/h).

DI: distancia entre líneas de goteros o laterales (m).

Dg: distancia entre goteros (m).

-Elección de aspersores.

La elección de un tipo de aspersor depende de la planta a regar:

-Para plantas de gran envergadura se recomienda de aspersores gigantes.

-Para frutales aspersores de media presión y ángulo bajo de salida.

$$TAAA = \frac{Qa}{(DI * Da)} \quad \text{Ec.6}$$

donde:

TAAA: tasa de aplicación de agua del aspersor (mm/h).

Qa: caudal de entrega del aspersor (L/h).

DI: distancia entre líneas de aspersores operando (m).

Da: distancia entre aspersores operando por línea (m).

Para distribución cuadrada $DI=Da$, dependiendo del diámetro de mojamiento del aspersor y de la velocidad del viento.

- Tiempo de Aplicación de Riego para Emisores.

Goteros.

$$TARG = \frac{LN}{TAAG} \quad \text{Ec.7}$$

donde:

LN: lamina neta.

TARG: tiempo de aplicación de riego del gotero (h).

Aspersores.

$$TARA = \frac{LN}{TAAA} \quad \text{Ec.8}$$

donde:

LN: lamina neta.

TARA: tiempo de aplicación de agua de los aspersores (h).

- Caudal Total Absorbido por los Emisores.

.Goteros

$$QTAG = Qg * Nr * Ng \quad \text{Ec.9}$$

donde:

QTAG: caudal total absorbido por gotero (L/h).

Qg: caudal de entrega del gotero (L/h).

Nr: número de líneas de goteros operando.

Ng; número de goteros operando por ramal.

Aspersores.

$$QTAA = Qa * Nl * Na \quad \text{Ec.10}$$

donde:

-QTAA: caudal total absorbido por aspersores (L/h).

- Qa: caudal de entrega del aspersor (L/h).
- Ni: número de líneas de aspersores operando.
- Na: número de aspersores operando por línea.

2.3 Parámetros de Diseño.

- Perdidas de Carga.

Existen diversas fórmulas para calcular la pérdida de carga de un fluido, pero la más versátil es la de Hazen-Williams, por ser aplicable a diferentes tipos de tuberías, esta depende de cuatro factores: el caudal, el diámetro interior de la tubería, el largo total de la tubería, y la constante fijada por el material de la tubería.

-Formula de Hazen-Williams para diferentes tipos de tubería.

$$J = 10.665 * \frac{L * Q^{1.852}}{(C^{1.852} * D^{4.869})} \quad \text{Ec.11}$$

donde:

Q: caudal (m).

D: diámetro interior de la tubería m).

L: largo total de la tubería (m).

C: constante que depende del material de la tubería.

J: pérdida de carga (m.c.a).

Tabla: 3 Valor de C para diferentes materiales de tuberías (según VINILIT)

Material	Constante C	Material	Constante C
PVC	150	Acero Nuevo	120
PE	150	Acero Usado	110
Fibrocemento	140	Fundición Nueva	100
Hormigón	128	Fundición Usada	85

En los riegos la tubería de impulsión se divide en tubería maestra, tubería secundaria y ramal. El cálculo de la pérdida de carga total se puede hacer en forma individual para cada tubería o en forma general dejándola expresada en función del caudal.

$$J(\text{tubería maestra}) = 10.665 * \frac{(L(\text{tubería maestra}) * Q^{1.852})}{(C^{1.852} * D^{4.869}(\text{tubería maestra}))} \quad \text{Ec.12}$$

$$J(\text{tubería secundaria}) = 10.665 * \frac{(L(\text{tubería secundaria}) * Q^{1.852})}{(C^{1.852} * D^{4.869}(\text{tubería secundaria}))} \quad \text{Ec.13}$$

$$J(\text{ramal}) = 10.665 * \frac{(L(\text{ramal}) * Q^{1.852})}{(C^{1.852} * D^{4.869}(\text{ramal}))} \quad \text{Ec.14}$$

Luego la pérdida total en la tubería es:

$$J(\text{tubería total}) = J(\text{tubería maestra}) + J(\text{tubería secundaria}) + J(\text{ramal}) \quad \text{Ec.15}$$

Es importante señalar en el caso de que algún tramo de tubería aparte de cambiar de diámetro cambie de material (cambiando C) se procede de igual forma remplazando el valor de la constante por el del material correspondiente. Esto es muy favorable para escoger el equipo de impulsión.

- Pérdidas de Carga en Accesorios.

Es conocida también como pérdida secundaria, es producida por el roce según la geometría o forma de los accesorios por donde circula el agua. Es recomendable adquirir accesorios que produzcan menor pérdida y que esto incide en los costos de operación (energía), por lo que van a ser el 10% de las pérdidas.

2.4 Elección del diámetro adecuado en Tuberías y Accesorios.

El diámetro de las tuberías se halla despejando de la fórmula de continuidad, con el caudal y la velocidad conocida de cada sección de la tubería.

$$Q = V * A$$

$$Q = V \frac{\pi * d^2}{4}$$

Ec.16

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

donde:

Q: caudal de sección de tubería (m³/s).

V: velocidad 1m/s (0.9 – 1.3 m/s).

A: área (m²).

d: diámetro de la tubería (m).

2.5 Presión Total.

1. Aplicación de Hazen-Williams, introduciendo en la variable caudal (Q) los siguientes valores:

-Para la línea ramal elegida (ramal más largo).

$$Q_{ramal} = N^{\circ}e * Q_e$$

Ec.17

donde:

- N[°]e: número de emisores por ramal.

- Q_e: caudal entregado por emisor (m³/s).

-Para la línea secundaria (línea secundaria más larga).

$$Q_{secundaria} = N^{\circ}r * Q_r \quad \text{Ec.18}$$

donde:

N[°]r: número de ramales abastecidos por línea secundaria.

Q_r: caudal ramal (m³/s).

Q_{secundaria}: caudal de la tubería secundaria (m³/s).

-Para línea principal o impulsión.

$$Q_{principal} = Q_{EB} = N^{\circ}s * Q_s \quad \text{Ec.19}$$

donde:

Q_{EB}: caudal de equipo de bombeo (m³/s).

N[°]s: número de líneas secundarias.

Q_s: caudal línea secundaria (m³/s).

2. Para el caso de los emisores el valor del caudal corresponden al que entregan durante el riego, la pérdida total es la suma de las perdidas independientes.

2.6 Elección del equipo de bombeo.

El equipo de bombeo a elegir debe entregar un caudal igual o superior al Caudal Total Absorbido por los Emisores. Se debe escoger entre los equipos que cumpliendo con lo anterior sean de menor costo y de más alto rendimiento.

La elección se realiza consultando los catálogos de equipos de bombeo, donde para cada modelo de bomba se encuentre su curva característica, la que incluye curva de rendimiento, donde fácilmente se pueda apreciar la altura máxima que entrega el equipo y su caudal máximo. En el catálogo de bombas Vogt se encuentra la curva

de potencia del motor del equipo, muy útil para conocer su tamaño, y la curva de aspiración.(Vergara 2001)

2.7 Potencia requerida.

La potencia de la bomba requerida para que el riego funcione eficientemente depende del caudal y presión.

$$PR = \frac{(Qt * Pt * 1000 * 9.8)}{(\eta * 746)} \quad \text{Ec.20}$$

donde:

Pt: potencia requerida (HP).

Qt: Caudal total (m³/s).

Pt: Presión total (m.c.a).

η: Rendimiento por efecto de transmisión de potencia.

Obtenidas la potencia y conociendo la disponibilidad de energía, se elige el tipo de motor con que opere el sistema.

Para potencias de 0 a 2 HP, se recomienda el uso de motobombas eléctricas monofásicas, para potencias superiores se recomienda el uso de motobombas eléctricas.

2.8 Cálculo de la bomba de ariete.

Tabla: 17 Diámetro recomendado en función del caudal de agua disponible.

Caudal de alimentación del ariete - Q	litros/min	30	60	90	120	250	500	1000
Diámetro recomendable del tubo alimentación	pulgadas	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	5	8
	mm	35	41	52	70	80	125	200

Las diferentes variables que participan en el funcionamiento del ariete hidráulico, se relacionan de la siguiente forma:

$$Caudal Elevado = \frac{2 * Q * h}{3 * H} \quad \text{Ec.21}$$

donde:

Caudal elevado (L/min)

Q: es el caudal de alimentación en litros por minuto (1000 L/min)

h: desnivel de trabajo en metros (2 m)

H: altura de elevación en metros (10 m)

$$\frac{2 * 1000 * 2}{3 * 10} = 166.6 \text{ (L/min)} = 8000 \text{ (L/h)}$$

Por lo tanto se pondrán 4 tanques elevados de 2500L a una altura de 10m.

Los tanque se colocaran de forma que la toma de agua entre por arriba y se valla llenando y cuanto tenga un nivel considerado pase al otro tanque y así sucesivamente hasta que se llene el ultimo que es donde estará por debajo la salida del agua del riego. De forma tal que los tanques funcionen como un desarenador y eliminen la turbulencia del agua, evitando que cuando el agua llegue al sistema no se atasquen los goteros y aspersores.

CAPITULO III. Análisis de Resultados, Red y Costos.

El Centro de Estudios Jardín Botánico de Villa Clara (CE-JBVC) se encuentra sobre rocas de origen Cuaternario ubicado a 5 ½ kilómetros al norte de la ciudad de Santa Clara en la cuenca del río Sagua la Chica, el clima se corresponde con el tipo tropical termoxeroquiménico subhúmedo, donde la humedad relativa se mantiene elevada durante todo el año y su promedio mensual es de 79.58%, el viento es del este con una velocidad promedio de 5.26 km/h. Se asienta de forma general suelo Pardo Carbonatado en las áreas a regar. (Orozco 2010)

Cuentan con una fuente, Río Minerva-Ochoita, el cual tiene estudios de su agua en trabajo realizados anteriormente.(Sosa 2016)

Se diseñó para regar por gravedad excepto el área que comprenden las plantas medicinales, que se colocara una bomba para lograr la presión requerida en el riego por aspersión; y por goteo, el vivero, la casa de cultivo, las plantas umbrofilas y los frutales, en las áreas donde se encuentran los maderables por el motivo que los arboles existentes son muy antiguos, no requieren de un riego, la cual se tendrá en cuenta para proyectos futuros cuando que se agreguen nuevas especies.

Tabla: 4 Emisores por área.

Áreas	Emisores por línea	Líneas	Total de Emisores
Medicinales	6	8	48
Umbrofilas	16	15	240
Frutales	26	18	468
Vivero	16	17	272
Casa de Cultivo	24	18	432

. Los cálculos se realizaron mediante el software Microsoft Excel.

3.1 Diseño de las áreas para el riego.

3.1.1 Diseño del área de plantas medicinales.

-Debido al requerimiento de las plantas se es necesario establecer un riego por aspersión fijo el cual le permita a las mismas obtener el agua adecuada para su vida.



Figura: 14 Riego por aspersión en el área de plantas medicinales.

Tabla: 5 Datos para el riego por aspersión. (Orozco 2010)

Datos Necesarios	
Kc de Plantas	0,30 (0,25-0,35)
Profundidad de Raíces	0.10 m
Criterio de Riego	0,2
Tipo de Riego	Aspersión
Eficiencia de Riego	80%
Evaporación de bandeja	6,5 mm/día
Tipo de Suelo	Pardo Carbonatado
Densidad Aparente Suelo	1,35 gr/cc (1,30-1,40 gr/cc)
Capacidad de área	25 % (23%-31%)
Distancia del agua al Terreno	160 m

Punto de Marchites Permanente	13 % (11%-15%)
Altura de Elevación	10m
Disponibilidad de Energía	Tensión monofásica (220 volt)
Datos para la elección del Emisor	
Dimensiones del área	55 m x40 m
Pendiente de Terreno	0,20%
Velocidad de Infiltración	6mm/h
Velocidad del Viento	Sin viento

-Utilizando (Ec.1, Ec.2, Ec.3, Ec.4).

Parámetro	Valor	U.M
Uso de Consumo	1.95	mm/día
Lamina Neta	3.24	mm
Requerimiento Bruto	2.4	mm/día
Frecuencia de Riego	2	Días

-Elección del tipo de emisor.

Por tratarse de plantas medicinales el aspensor FALCON-6504 es la solución ideal para dicho riego, los que cubrirán en forma total el área comprendida.

Tabla: 6 Características del aspensor FALCON-6504.

Presión (bares)	Caudal (L/h)	Diámetro (m)
2.0	113.4	8.0
3.5	136.4	8.8
3.0	159	9.1
3.5	181.8	11.6
4.0	546	11.9

De acuerdo a los datos anteriores:

Distancias entre Líneas	$0,65 * D = 0,65 * 8 = 5.2 \approx 6m$
Numero de Aspersores por Línea	6 unidades
Distancia entre Aspersores	$0,65 * D = 6m$

-Utilizando (Ec.6, Ec.8, Ec.10).

Parámetros	Valor	U.M
Tasa de aplicación de agua del aspersor	3.15	mm/h
Tiempo de aplicación de riego para aspersores	1.02	h
Caudal total absorbido por aspersores	5444	L/h

El valor obtenido corresponde al caudal que debe ser igual o inferior al de entrega de la bomba para regar el área en el tiempo calculado anteriormente.

3.1.2 Diseño del área de frutales.

-Debido al requerimiento de las plantas se establece un riego por goteo el cual brinde la cantidad de agua requerida para los frutales existentes, permitiendo que aumente su productividad. También el incremento de nuevos frutales que por no tener agua no se podía plantar.



Figura: 15 Riego por goteo en el área de árboles Frutales.

Tabla: 7 Datos del Riego por Goteo. (Orozco 2010)

Datos Necesarios	
Kc de Plantas	0,65
Profundidad de Raíces	0,40 m
Criterio de Riego	0,3
Tipo de Riego	Goteo
Eficiencia de Riego	50%
Evaporación de bandeja	6,5 mm/día
Tipo de Suelo	Pardo Carbonatado
Densidad Aparente Suelo	1,35 gr/cc (1,30-1,40 gr/cc)
Capacidad de área	37 % (33%-41%)
Distancia del agua al Terreno	50 m
Punto de Marchites Permanente	24 % (23%-30%)
Altura de Elevación	6m
Disponibilidad de Energía	Tensión monofásica (220 volt)
Datos para la elección del Emisor	
Dimensiones del área	100 m x75 m
Pendiente de Terreno	3%
Velocidad de Infiltración	8mm/h
Velocidad del Viento	Sin viento
Distancia entre Hileras	6 m
Distancia Plantas por Hileras	3 m

-Utilizando (Ec.1, Ec.2, Ec.3, Ec.4).

Parámetro	Valor	U.M
Uso de Consumo	4.23	mm/día
Lamina Neta	19.44	mm
Requerimiento Bruto	8.46	mm/día
Frecuencia de Riego	3	Días

-Elección del tipo de emisor.

Por tratarse de frutales lineales y el terreno posee poca pendiente es factible Mangueras de larga duración con goteros insertados para plantas de vida extensa. Por lo que se escoge la Manguera de Goteo Auto-compensada de 1.6 L/h por emisor con rango de 30-45 cm.(Durman 2017)

-Utilizando (Ec.5, Ec.7, Ec.9).

Parámetros	Valor	U.M
Tasa de aplicación de agua del gotero	1.5	mm/h
Tiempo de aplicación de riego para gotero	13	h
Caudal total absorbido por gotero	749	L/h

3.1.3 Diseño del área del Vivero.

Por tratarse de pequeñas plantas ubicadas linealmente se escoge el riego por goteo el cual es capaz de llevar el agua con eficiencia a sus raíces.

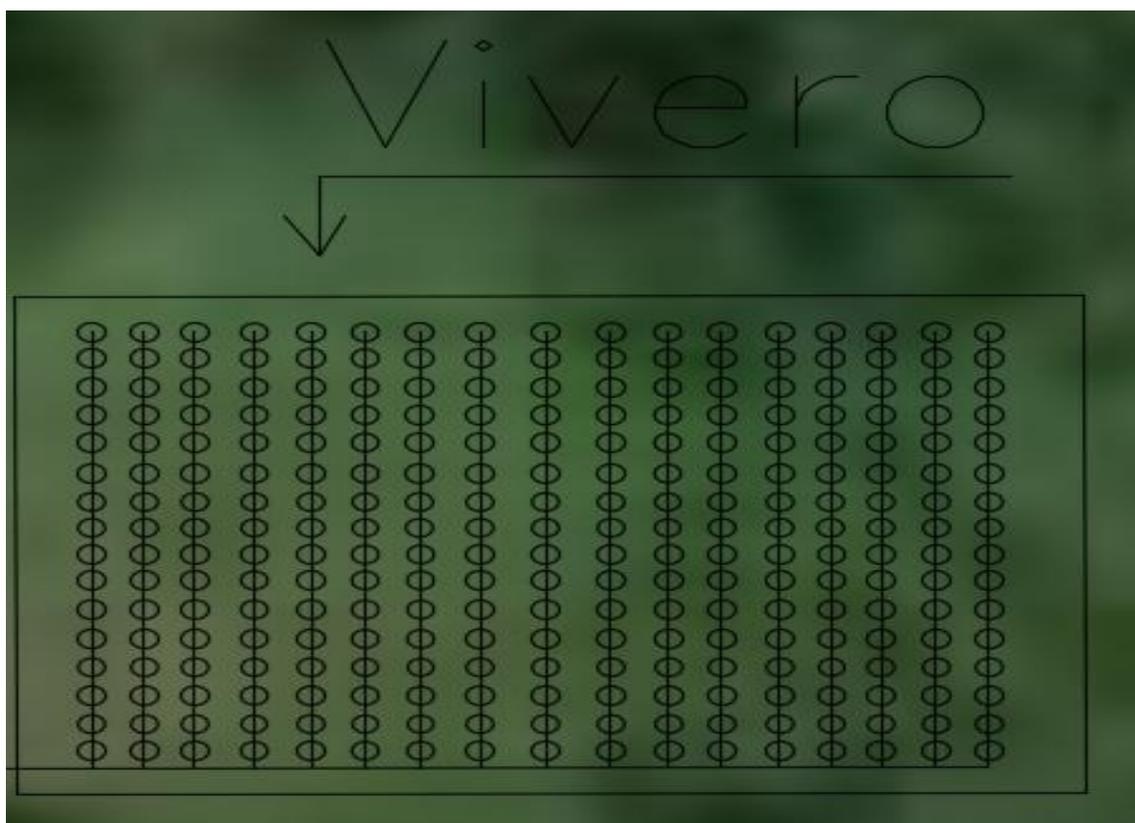


Figura: 16 Riego por goteo en el área del vivero.

Tabla: 8 Datos del Riego por Goteo.(Orozco 2010)

Datos Necesarios	
Kc de Plantas	0,20
Profundidad de Raíces	0,05 m
Criterio de Riego	0,4
Tipo de Riego	Goteo
Eficiencia de Riego	70%
Evaporación de bandeja	6,5 mm/día
Tipo de Suelo	Pardo Carbonatado
Densidad Aparente Suelo	1,35 gr/cc (1,30-1,40 gr/cc)
Capacidad de área	65 % (50%-70%)
Distancia del agua al Terreno	140 m
Punto de Marchites Permanente	23 % (21%-25%)
Altura de Elevación	8m
Disponibilidad de Energía	Tensión monofásica (220 volt)
Datos para la elección del Emisor	
Dimensiones del área	13.5 m x10 m
Pendiente de Terreno	0,5%
Velocidad de Infiltración	8mm/h
Velocidad del Viento	Sin viento
Distancia entre Hileras	0.7 m
Distancia Plantas por Hileras	0,15 m

-Utilizando (Ec.1, Ec.2, Ec.3, Ec.4).

Parámetro	Valor	U.M
Uso de Consumo	1.3	mm/día
Lamina Neta	11.08	mm
Requerimiento Bruto	1.86	mm/día
Frecuencia de Riego	6	Días

- Elección del tipo de emisor.

Por tratarse de vivero lineal y que el terreno posee poca pendiente y las líneas de goteros no excederán los 50 m de largo, las cintas de riego se fabrican para entregar caudales de

2 a 5 litros /h, eligiendo para este caso la cinta de riego marca Rain Tape TPC con un caudal de entrega de 3.28 L/h, lo que es igual a 0.21 L/h por emisor. (Durman 2017)

-Utilizando (Ec.5, Ec.7, Ec.9).

Parámetros	Valor	U.M
Tasa de aplicación de agua del gotero	2	mm/h
Tiempo de aplicación de riego para gotero	5.54	h
Caudal total absorbido por gotero	57.12	L/h

3.1.4 Diseño del área de plantas umbrofilas.

-Debido al requerimiento de las plantas el riego por goteo es el más eficiente para estas variedades de planta.

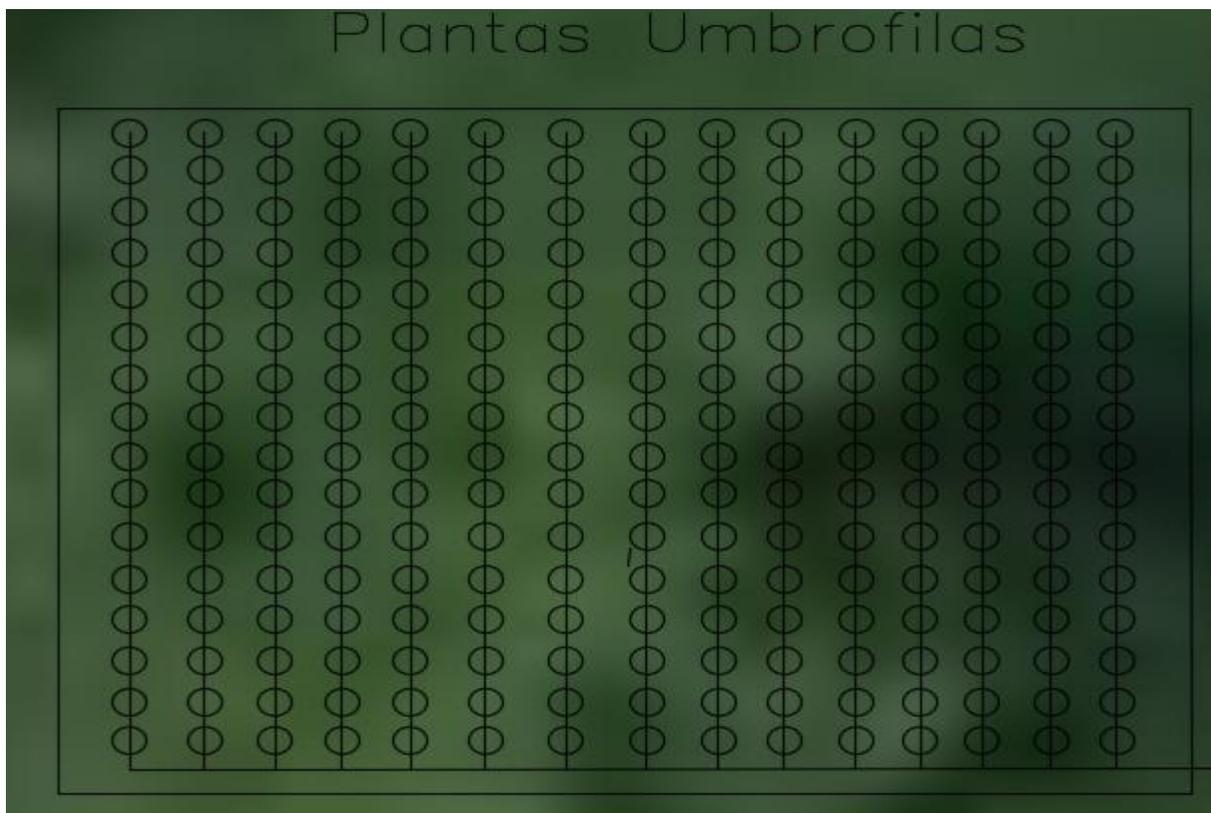


Figura: 17 Riego por goteo en el área de plantas umbrofilas.

Tabla: 9 Datos del Riego por Goteo. (Orozco 2010)

Datos Necesarios	
Kc de Plantas	0,25
Profundidad de Raíces	0,10 m
Criterio de Riego	0,4
Tipo de Riego	Goteo
Eficiencia de Riego	60%
Evaporación de bandeja	6,5 mm/día
Tipo de Suelo	Pardo Carbonatado
Densidad Aparente Suelo	1,35 gr/cc (1,30-1,40 gr/cc)
Capacidad de área	45 % (34%-53%)
Distancia del agua al Terreno	160 m
Punto de Marchites Permanente	14 % (11%-20%)
Altura de Elevación	9m
Disponibilidad de Energía	Tensión monofásica (220 volt)
Datos para la elección del Emisor	
Dimensiones del área	12 m x 9 m
Pendiente de Terreno	0,5%
Velocidad de Infiltración	8mm/h
Velocidad del Viento	Sin viento
Distancia entre Hileras	0.78 m
Distancia Plantas por Hileras	0,25 m

-Utilizando (Ec.1, Ec.2, Ec.3, Ec.4).

Parámetro	Valor	U.M
Uso de Consumo	1.63	mm/día
Lamina Neta	16.74	mm
Requerimiento Bruto	2.71	mm/día
Frecuencia de Riego	6	Días

-Elección del tipo de emisor.

Las plantas ubicadas en líneas que no excedan los 50 m de largo, se escogen las cintas de riego marca Rain Tape TPC con un caudal de entrega de 3.28 L/h, lo que es igual a 0.21 L/h por emisor.(Durman 2017)

-Utilizando (Ec.5, Ec.7, Ec.9).

Parámetros	Valor	U.M
Tasa de aplicación de agua del gotero	0.54	mm/h
Tiempo de aplicación de riego para gotero	6.17	h
Caudal total absorbido por gotero	50.4	L/h

3.1.5 Diseño del área de la casa de cultivos.

- El riego por goteo es muy eficiente para este tipo de plantas, pues satisface las necesidades de las mismas sin obtener un nivel de saturación alto.



Figura: 18 Riego por goteo en el área de la casa de cultivo.

Tabla: 10 Datos para el riego por goteo.(Orozco 2010)

Datos Necesarios	
Kc de Plantas	0,20
Profundidad de Raíces	0,07 m
Criterio de Riego	0,4
Tipo de Riego	Goteo
Eficiencia de Riego	70%
Evaporación de bandeja	6,5 mm/día
Tipo de Suelo	Pardo Carbonatado
Densidad Aparente Suelo	1,35 gr/cc (1,30-1,40 gr/cc)
Capacidad de área	63 % (50%-70%)
Distancia del agua al Terreno	140 m
Punto de Marchites Permanente	21 % (18%-25%)
Altura de Elevación	6m
Disponibilidad de Energía	Tensión monofásica (220 volt)
Datos para la elección del Emisor	
Dimensiones del área	40 m x 20 m
Pendiente de Terreno	0,5%
Velocidad de Infiltración	8mm/h
Velocidad del Viento	Sin viento
Distancia entre Hileras	0.7 m
Distancia Plantas por Hileras	0,15 m

-Utilizando (Ec.1, Ec.2, Ec.3, Ec.4).

Parámetro	Valor	U.M
Uso de Consumo	1.3	mm/día
Lamina Neta	15.87	Mm
Requerimiento Bruto	1.86	mm/día
Frecuencia de Riego	9	Días

-Elección del tipo de emisor.

Por tratarse de una casa de cultivo y el terreno posee poca pendiente y las líneas de góteros no excederán los 50 m de largo, las cintas de riego marca Rain Tape TPC con un caudal de entrega de 4.28 L/h, lo que es igual a 0.19 L/h por emisor. (Durman 2017)

-Utilizando (Ec.5, Ec.7, Ec.9).

Parámetros	Valor	U.M
Tasa de aplicación de agua del gotero	1.81	mm/h
Tiempo de aplicación de riego para gotero	8.5	h
Caudal total absorbido por gotero	91.12	L/h

3.2 Cálculos Hidráulicos.

-Presión total.

-Para calcular la presión aplicamos Hazen- Williams, escogemos el caudal de cada emisor en el punto más alejado de la fuente de abasto.



Figura: 14 Secciones de las tuberías.

-Utilizando (Ec.17, Ec.18, Ec.19).

Caudales del área de frutales	Valor	U.M
Qemisor ₃	1.6	L/h
Qramal ₃₋₂	41.6	L/h
Qsecundaria ₂₋₁	748.8	L/h
Qprincipal	748.8	L/h

Caudales del área de vivero	Valor	U.M
Qemisor ₉	0.21	L/h
Qramal ₉₋₈	3.36	L/h
Qsecundaria ₈₋₁	57.12	L/h
Qprincipal	57.12	L/h

Caudales del área de umbrofilas	Valor	U.M
Qemisor ₁₁	0.21	L/h
Qramal ₁₁₋₁₀	3.36	L/h
Qsecundaria ₁₀₋₁	50.4	L/h
Qprincipal	50.4	L/h

Caudales del área de la casa de cultivos	Valor	U.M
Qemisor ₅	0.19	L/h
Qramal ₅₋₄	4.56	L/h
Qsecundaria ₄₋₁	91.12	L/h
Qprincipal	91.12	L/h

Caudales del área medicinal	Valor	U.M
Qemisor ₇	113.4	L/h
Qramal ₇₋₆	680.4	L/h

Qsecundaria ₆₋₁	5444	L/h
Qprincipal	5444	L/h
Caudal Principal Total		
Qpt ₁	6391.44	L/h

-Elección del Diámetro.

El diámetro se obtiene del despeje de la fórmula de continuidad (Ec.16) con el caudal obtenido en cada tubería y una velocidad económica de 1m/s, obtenido el diámetro se escoge el diámetro comercial más aproximado y se halla la velocidad real en cada tubería.

Tabla: 11 Datos de las tuberías.

Tuberías	Diámetros (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (m³/s)	Longitud (m)	Cantidad
1	0,051	0,87	1,77*10 ⁻³	155	1
2	0,019	0,73	2,08*10 ⁻⁴	148	1
3	0,0127	0,092	1,16*10 ⁻⁵	70	18
4	0,0127	0,19	2,53*10 ⁻⁵	50	1
5	0,0127	0,01	1,26*10 ⁻⁶	15	20
6	0,051	0,74	1,51*10 ⁻³	102	1
7	0,019	0,67	1,89*10 ⁻⁴	34	12
8	0,0127	0,12	1,58*10 ⁻⁵	14	1
9	0,0127	0,007	9,33*10 ⁻⁷	8,5	17
10	0,0127	0,11	1,44*10 ⁻⁵	12,5	1
11	0,0127	0,007	9,33*10 ⁻⁷	8,5	15

Tabla: 12 Diámetros

Metros	0,0127	0,019	0,051
Pulgadas	1/2	3/4	2

Tabla: 13 Accesorios.

Accesorios	Cantidad
Tee 2"	1
Tee ½"	52
Tee 2" reducción ¾"	13
Tee 2" reducción ½"	11
Tee ¾" reducción ½"	18
Codo 90° -2"	1
Codo 90° -½"	1
Codo 45° -2"	45
Tapón ¾"	12
tapón ½"	70
Reducido 2" a ½"	1
Válvula de cierre ¾"	1
Válvula de cierre ½"	3
Unión PVC 2"	15
Unión PVC ¾"	50
Unión PVC ½"	10

-Utilizando (Ec.11, Ec.12, Ec.13, Ec.14, Ec.15).

Tabla: 14 Perdidas de carga en las tuberías.

	Secciones	hf (m)
ramal	11 – 10	0,0000982
secundaria	10 – 1	0,0229
ramal	9 – 8	0,0000982
secundaria	8 – 1	0,0305
ramal	7 – 6	1,03
secundaria	6 – 1	1,19
ramal	5 – 4	0,000302
secundaria	4 – 1	0,26
ramal	3 – 2	0,09
secundaria	2 – 1	5,37
principal	1	2,42
accesorios	sistema	0.1
	total	10

-Elección del equipo de bombeo.

Como la bomba se encuentra en el tramo de tubería 6 y trabaja para la sección 6-7 la pérdida de carga de esta sección es la suma de las pérdidas secundaria más las pérdidas del ramal, más la de los accesorios.

El equipo de bombeo a elegir debe cumplir con los requisitos siguientes:

- Que entregue una presión igual o superior a 3 m.c.a.
- Que entregue un caudal 5.5 m³/h con la presión anterior indicada.

Con lo anterior se escoge el equipo de bombeo.

- Equipo de bombeo marca Vogt, modelo N 610, diámetro de entrada y salida 2”.



Diam. Entrada, Salida / Input Output Diam.	Velocidad Nominal / Nominal Speed	Serie	Modelo/Type
2" x 2"	1450 1/min	N	610

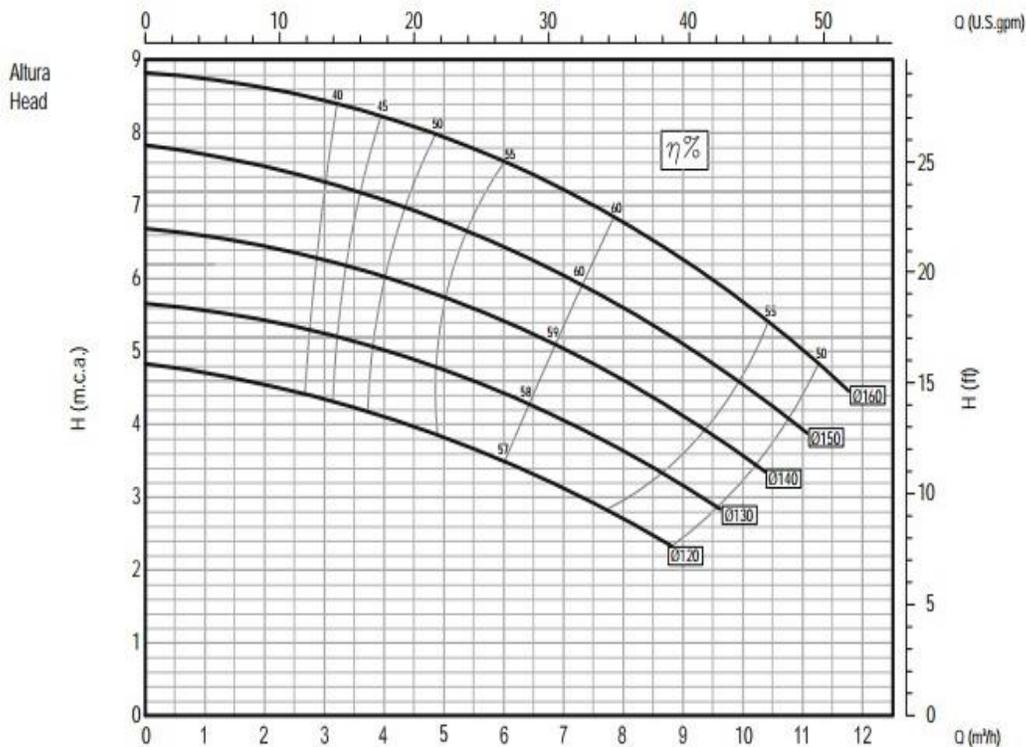


Figura: 18 Curvas de la bomba Vogt.

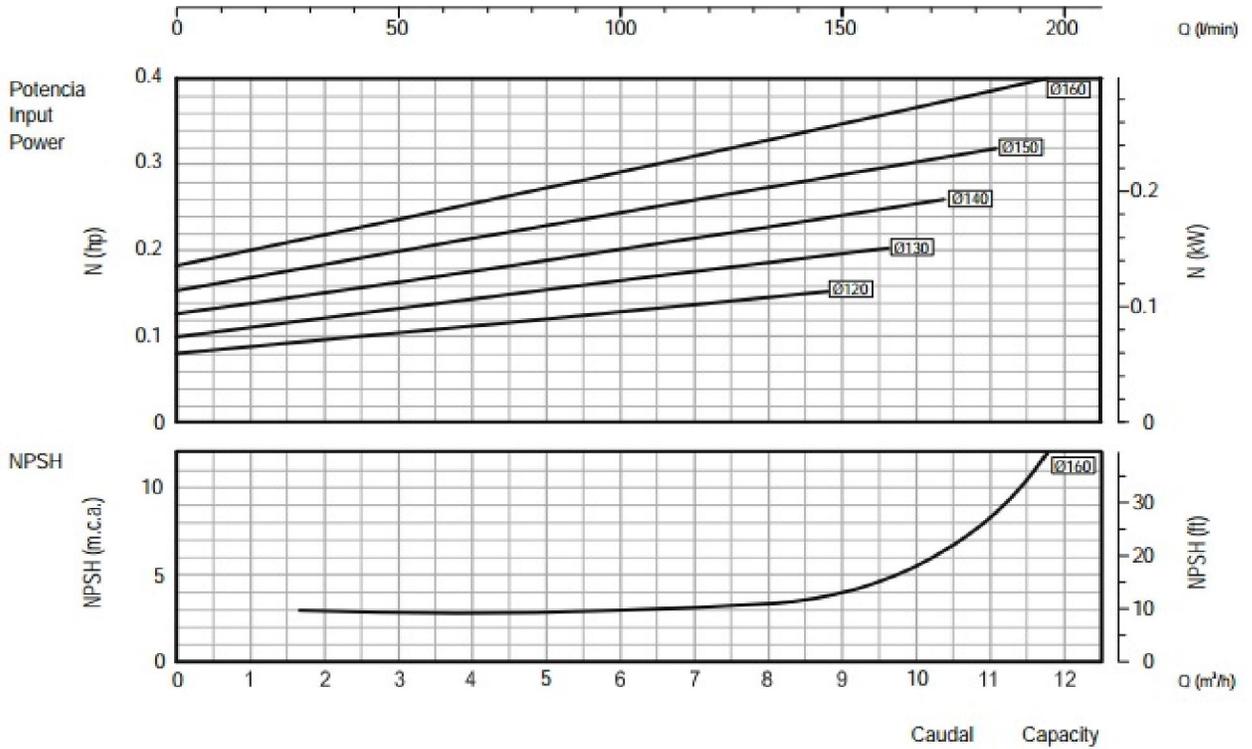


Figura: 19 Potencia de la bomba Vogt.

$n=1450$ 1/min

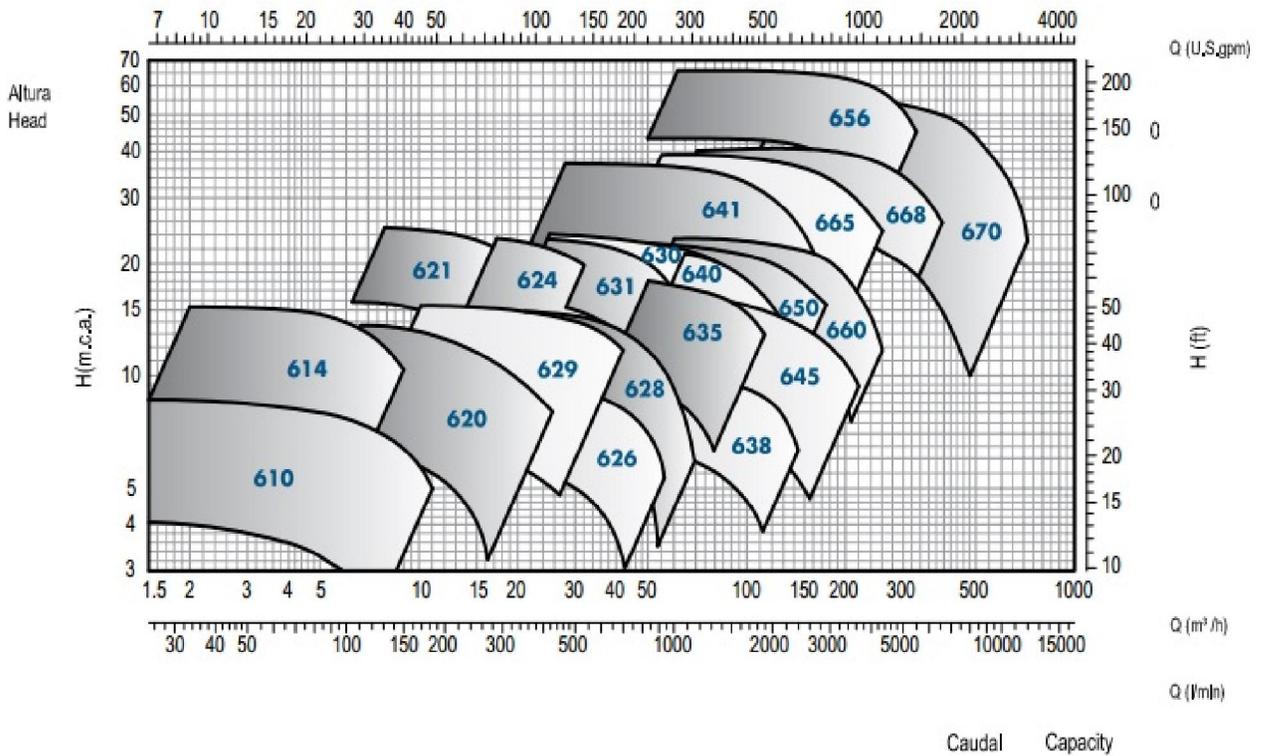


Figura: 20 Campos de trabajo para la serie N de bombas Vogt.

Después de analizar los gráficos se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El modelo de la bomba satisface los requerimientos de trabajo.
- El punto de trabajo de la bomba para este caso corresponde a una presión de 3.2 m.c.a y un caudal de 6 m³/h.
- La presión obtenida en el punto de trabajo de la bomba excede la presión de trabajo del sistema cuyo valor es 3 m.c.a.
- El caudal obtenido en el punto de trabajo de la bomba excede el caudal de trabajo del sistema cuyo valor es de 5.5 m³/h.
- El rendimiento de trabajo del equipo se encuentra cercano al 57%.

-Potencia Requerida de la Bomba Vogt.

-Utilizando (Ec.20)

$$PN = (0.00154 * 3.0 * 1000 * 9.81) / (0.57 * 746)$$

$$PN = 0.1 \text{ HP}$$

El equipo de bombeo debe entregar una potencia igual o superior a 0.1HP.

3.6 Costo de los implementos de riego.

Tabla: 15 Precio de los implementos de riego

Materiales	Código	Unidades	Precio x Unidad (cup)	Precio Total (cup)
Mangueras PVC hervaflex 2"	374906060000BKAL	27	20	540
Mangueras PVC hervaflex ¾"	374906040000BKAL	94	10	940
Mangueras hervaflex PVC ½"	374906030000BKAL	18	5	90
Válvula de cierre ¾"	2903414	1	35,263	35,263
Válvula de cierre ½"	2903408	3	28,566	85,698
Tee 2" Campana sementada	91 4371	1	2,3	2,3
Tee ½" Campana sementada	914355	52	6,43	334,36
Tee Red PVC S40 2" x ¾" B C/C	914510	13	25,6	332,8
Tee Red PVC S40 2" x ½" B C/C	914508	11	25,6	281,6
Tee Red PVC S40 ¾" x ½" B C/C	914483	18	5,3	95,4
Codo 90° 2" Campana sementada	909889	1	12	12
Codo 90° ½" Campana sementada	908582	1	1,8	1,8
Codo 45° 2" Campana sementada	908574	45	13,5	607,5
Tapón ¾"	914137	12	2	24
Tapón ½"	914135	70	1,8	126
Tanque 2500 L negro	980554	4	2244	8976
Aspersores FALCON-6504	9041152	48	1766,25	84780
Manguera de Goteo Auto-compensada de 100 m	9006714	26	1875	48750
Cinta de riego marca Rain Tape TPC ½" de 20 m	9003758	18	1306,25	23512,5
Cinta de riego marca Rain Tape TPC ½" de 10 m	9003752	32	1159,25	37096
Bomba Vogot 610	N	1	15975,75	15975,75
			Costo Total(cup)	222598,971

Conclusiones.

En el presente Trabajo de Diploma se logró realizar el diseño de riego de las áreas del Jardín Botánico de la Universidad Central «Marta Abreu» de las Villas, basado en la propuesta de riego presentada anteriormente:

- Obtenidos los datos del suelo y el agua se determinó que tipo de riego necesitaba cada planta de acuerdo a las condiciones del área y su consumo.
- Se realizaron todos los cálculos hidráulicos necesarios para la ejecución de los riegos en las distintas áreas.
- Se diseñó un riego por gravedad para toda las áreas del jardín botánico excepto para el area de las plantas medicinales que se utilizó una bomba para lograr la presión de los aspersores requerida.
- Con el diseño del sistema de riego se podrá dar paso al incremento de nuevas especies que hasta el momento no se lograban por condiciones desfavorables del terreno.
- La inversión para instalar el sistema de riego, sumando los costos de los utensilios usados en el diseño según la gaceta oficial vigente equivalen a \$222598.971.

Recomendaciones.

-Limpiar los reservorios cada cierto tiempo por el motivo que están cumpliendo la función de desarenador y el agua del río trae pequeñas partículas de arrastre que con el tiempo se van acumulando en los tanques.

-Cumplir con el tiempo de riego establecido en cada área, evitando crear un alto nivel de saturación para las plantas ya que algunos riegos son extendidos.

-Para proyectos futuros tener en cuenta que al sistema se le puede conectar otra red para abastecer el área de árboles maderables en caso de que se agreguen nuevas especies, siempre que cumpla con las condiciones del riego.

-El lugar cuenta con un pozo en construcción el cual puede implementarse para futuros riegos.

Referencias bibliográfica.

Cabrales, L. d. C. C. and S. C. García (2013). "Manual del Jardín Botánico Universitario José Narciso Rovirosa." Colección José N. Rovirosa **333**(C65/21).

Costa, M. (2001). El Jardín Botánico de la Universitat de València, Universitat de València.

DE TÍTULO, M. and M. P. A. JORQUERA "ESTUDIO COMPARATIVO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL DIFUSOR POP UP RAIN BIRD SERIE 1804, UTILIZANDO BOQUILLAS MPR 15F Y HE-VAN 15."

Durman (2017). "Catalogo de Riego Durman."

Gómez, P. F. M., et al. (2017). "Sistema de riego autónomo para pequeños cultivos basado en medición de temperatura y humedad." REVISTA POLITÉCNICA **13**(25): 65-74.

González Baucells, P. and M. A. Méndez (2004). "Panorama del riego y el drenaje en Cuba." Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias **13**(2).

Gurovich, L. A. (1985). Fundamentos y diseño de sistemas de riego, lica.

Gurovich, R. and A. Luis (1997). Riego Superficial Tecnificado: un libro de texto para la agricultura, Universidad Católica de Chile.

INRH (2007). "Normas de riego, Indices de consumo, Eficiencia de aplicación" Cuban Standards Bureau Habana **Resolución 211197**.

Martín-Benito, J. M. T. (1992). El riego por aspersión: diseño y funcionamiento, Univ de Castilla La Mancha.

Mérida (2006). " Jardines Botánicos, conceptos, operación y manejo. ." **1era edición**

Orozco (2010). "APUNTES HISTORICOS SOBRE EL JARDIN BOTANICO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DE LAS VILLAS."

Pochettino, M. L., et al. (2008). "Conocimiento botánico tradicional, circulación comercial y consumo de plantas medicinales en un área urbana de Argentina." Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas **7**(3).

RIEGO, M. D. B. P. D. (2015). "Propuestas de WWF para un uso eficiente del agua en la agricultura. ."

Rincón Suso, L. (2007). Sistemas de riego: conservación del agua. 4° Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Guadalajara-Jalisco, México, 1-5 Octubre 2007, Universidad de Guadalajara.

Rosano Méndez, L., et al. (2001). "Calibración de un modelo hidrológico aplicado en el riego tecnificado por gravedad." Agrociencia **35**(6).

Sedamano, A. and M. Angel (2012). Evaluación, mejora y ampliación del sistema de riego por aspersión Miraflores de la parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe, QUITO, 2012.

Sosa, J. r. A. (2016). "Propuesta de Diseño del Sistema de Riego para el Jardín Botánico de la Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas " Tesis.

Takaezu Romero, D. A. (2017). "Diseño para la implementación de un sistema de riego tecnificado en el campamento Villa Cuajone, Southern Peru Copper Corporation, Moquegua, Perú."

Talens, J. A. M. (2009). Riego localizado y fertirrigación, Mundi-Prensa Libros.

Tijerina Chávez, L. (1999). "Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación." Terra Latinoamericana **17**(3).

Vargas, J. G. and N. Escobar (2015). "Consideraciones técnicas para el diseño de sistemas de riego por goteo de baja presión asistido por la aplicación "RILO" V-4.27." Revista Unellez de Ciencia y Tecnología **33**.

Vergara, L. G. (2001). "Manual de Diseño de Riego Tecnificado."

Villasante, A. L. (2009). El riego, Mundi-Prensa Libros.

Vovides, A. P., et al. (2010). Jardines botánicos de México: historia y perspectivas, Secretaría de Estado de Veracruz.

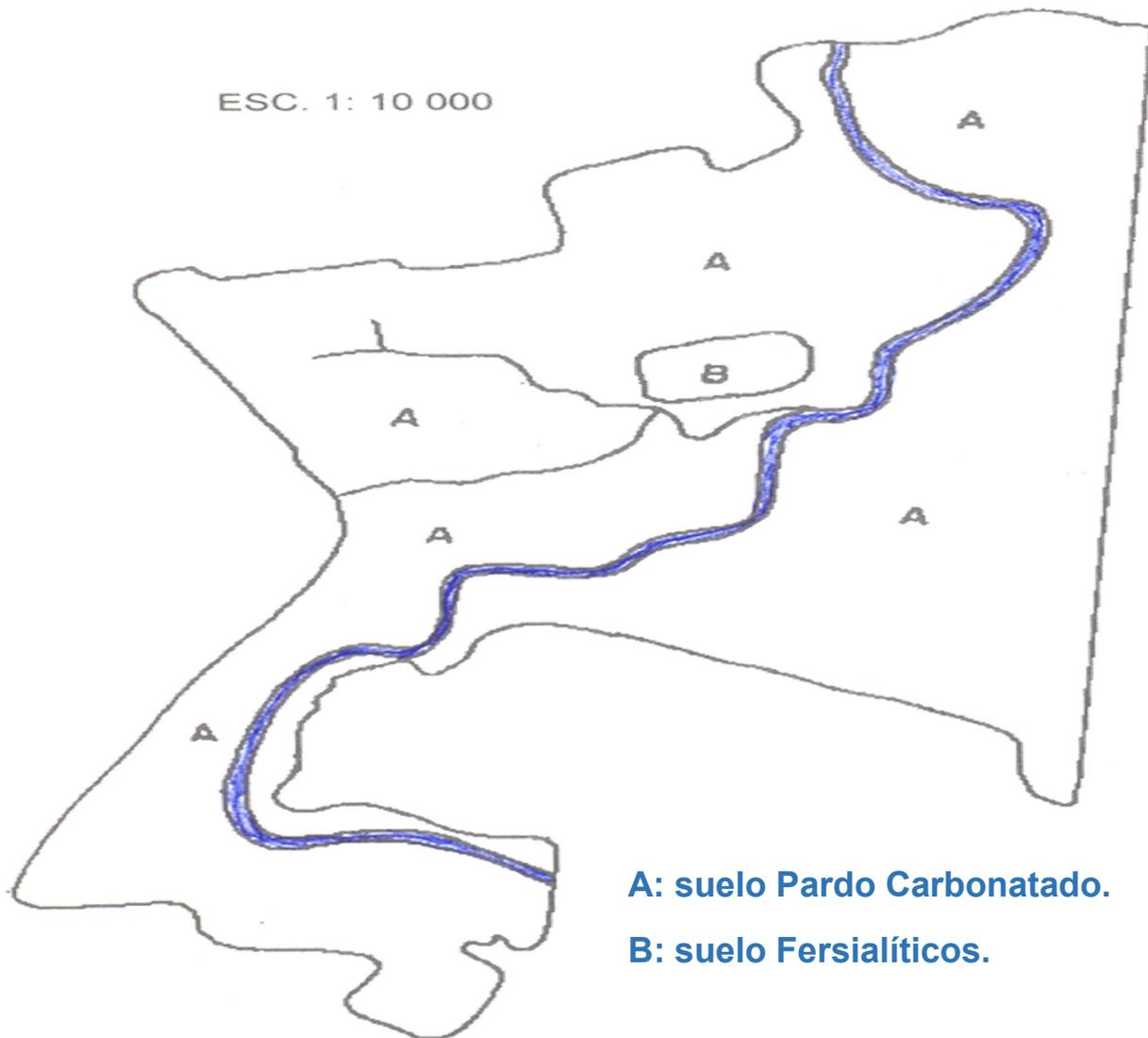
Anexos.



-Mangueras PVC para riego.



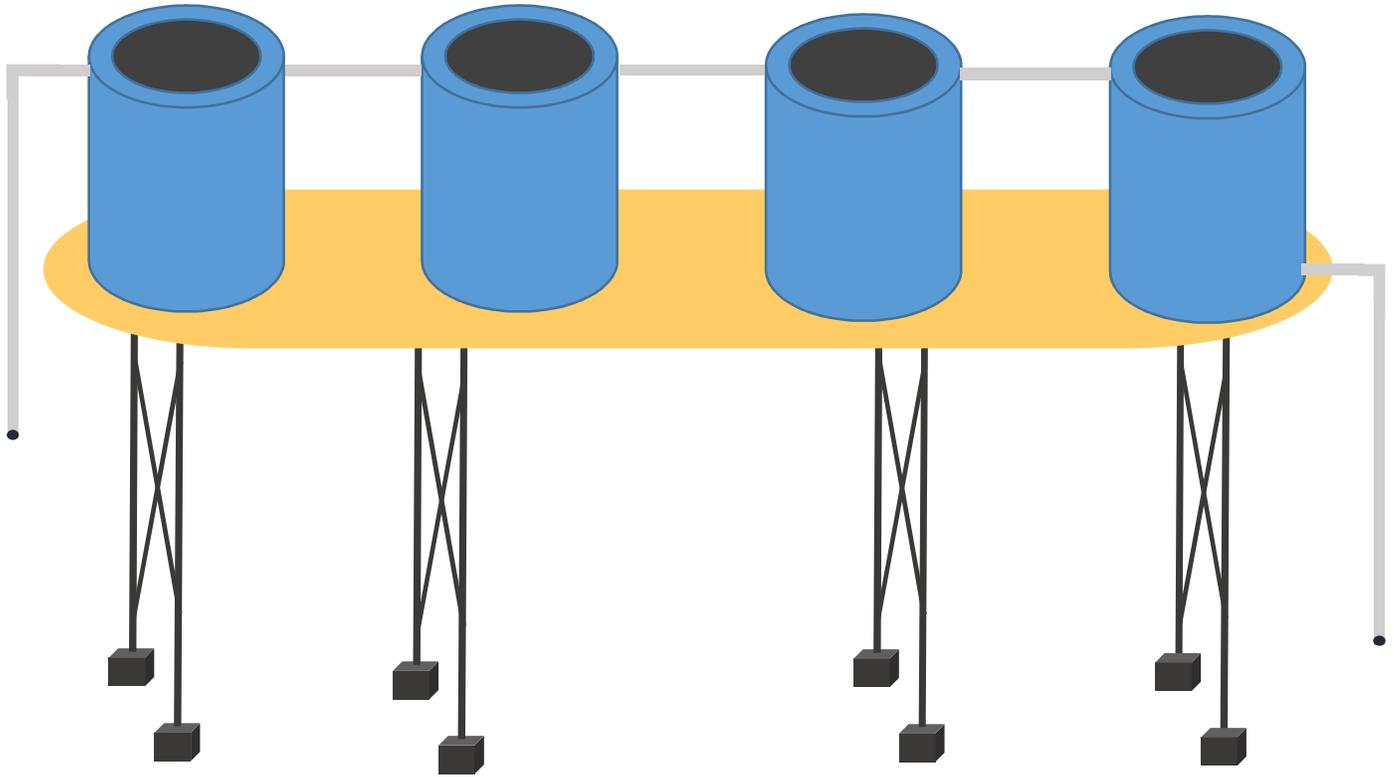
-Aspersores FALCON-6504



-Tipo de suelo en las áreas del jardín botánico.



-Área que necesita riego.



-Simulación de agua en los Tanques Elevados.