

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA  
DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN PARA EL VIVERO DE LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA - UNAS”**

**TESIS**

**Para optar al título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**FRANK DANNY ALANIA GARCÍA**

**TINGO MARÍA – PERÚ**

**2013**

**N01**

**A33**

**Alania García, Frank Danny**

Diseño, construcción y evaluación de un sistema de riego por microaspersión para el vivero de la Facultad de Agronomía - Tingo María, 2013

74 páginas; 22 cuadros; 03 figuras; 18 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Agronomía.

**1. DISEÑO**

**2. EVAPOTRANSPIRACIÓN**

**3. RIEGO**

**4. EVALUACIÓN**

**5. MICROASPERSIÓN**

**6. PRESIÓN**

## DEDICATORIA

A Dios padre nuestro: único poseedor de la verdad y la vida:

A mis queridos padres: con el infinito amor y eterna gratitud Angélica y Francisco; quienes con su sacrificio lograron la culminación de mi carrera profesional.

A mi hijo: Frank Sebastián con todo mi amor y cariño, que la presente le sirva de estímulo para que trate de ser mejor

A mis queridos hermanos: Goretta, Yesabella, Angi, Luigi y Guissepe con el cariño de siempre.

A la Hermana Goretta Favero: Por sus consejos, orientación y apoyo incondicional en mi formación profesional.

## AGRADECIMIENTO

- A Dios padre nuestro, único poseedor de la verdad y la vida, por dotarme de valiosos conocimientos, energía y sabiduría para seguir adelante.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y docentes de la Facultad de Agronomía, por la invaluable contribución cultural, social y científica.
- Al Dr. Gilberto Medina Díaz, Asesor de la presente tesis, por su orientación profesional e invaluable apoyo durante la ejecución y culminación del presente trabajo.
- Al Ing. Juan Mártires Ccoycca Fernández por su orientación, colaboración y supervisión de la tesis como coasesor del presente trabajo.
- Al Ing. M. Sc. David Guarda Sotelo, decano de la Facultad de Agronomía por su apoyo incondicional en la aprobación y el desarrollo de la presente tesis.
- Al Ing. M. Sc. Jorge Luis Adriazola del Águila, Ing. Victorino Rivas Pulache e Ing. Luis Lechuga Pardo miembros del jurado de la presente tesis, por las facilidades otorgadas al presente trabajo de investigación.
- Al Ing. Carlos Miranda Armas, jefe del fundo y vivero de la Facultad de Agronomía por las facilidades de otorgar el espacio donde se realizó los trabajos preliminares de la presente tesis.
- A Mis amigos: Karin Villogas Ventura, Rosa Huaqui Figueroa, Alex Fernando Rebatta Arroyo y Neyson Alvarado Pantoja; por su amistad, apoyo incondicional y respeto mutuo.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
I. INTRODUCCIÓN .....	10
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1. Consideraciones generales .....	12
2.1.1. Definiciones de riego .....	12
2.1.2. Clasificación de los métodos de riego.....	13
2.1.3. Eficiencia de aplicación de los métodos de riego (Ea).....	14
2.1.4. Tiempo de aplicación (Ta) .....	15
2.1.5. Elección de los métodos de riego .....	16
2.2. Panorámica del riego localizado .....	17
2.2.1. Ventajas del riego localizado .....	19
2.2.2. Desventajas del riego localizado.....	19
2.2.3. Tipos de riego localizado .....	20
2.3. Sistema de riego para uso en vivero.....	21
2.3.1. Selección del tipo de riego en vivero .....	21
2.4. Sistema de riego por microaspersión.....	22
2.4.1. Características del riego por microaspersión.....	23
2.5. Componentes de un sistema de riego por microaspersión .....	23
2.5.1. Centro de control .....	23
2.5.2. Red de tuberías .....	24
2.5.3. Red eléctrica.....	24
2.5.4. Emisores.....	25
2.6. Diseño de un sistema de riego localizado.....	25

2.6.1. Diseño agronómico .....	26
2.6.2. Diseño hidráulico .....	28
2.7. Evaluación de un sistema de riego localizado por micro aspersión .....	29
2.7.1. Coeficiente de uniformidad de caudales (CUC).....	30
2.7.2. Coeficiente de uniformidad de distribución (CUD) .....	30
2.7.3. Causas fundamentales de pérdidas de agua en este tipo de riego... .....	31
2.7.4. Causas de falta de uniformidad .....	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	32
3.1. Descripción de las características de área experimental .....	32
3.1.1. Ubicación del campo experimental .....	32
3.1.2. Descripción del área experimental.....	32
3.1.2. Plantones cultivados en el vivero.....	33
3.1.3. Topografía y fisiografía .....	33
3.1.4. Clima.....	33
3.2. Materiales, equipos y herramientas utilizados .....	33
3.2.1. Materiales .....	33
3.2.2. Herramientas .....	34
3.2.3. Herramientas de cómputo.....	35
3.3. Métodos .....	35
3.3.1. Fase de diseño .....	35

3.3.2. Fase de la construcción del sistema de riego por micro aspersión.....	42
3.3.3. Fase de la evaluación del sistema de riego por micro aspersión.....	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
V. CONCLUSIONES.....	68
VI. RECOMENDACIONES .....	69
VII. RESUMEN .....	70
VIII. BIBLIOGRAFÍA .....	71
IX. ANEXO.....	74

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
1. Eficiencia de aplicación de los diferentes sistemas de riego.....	15
2. Valores del factor de reducción por la pendiente .....	16
3. Factores que favorecen la elección del método de riego .....	17
4. Propiedades físicas del suelo.....	27
5. Valores del déficit permisible de manejo .....	27
6. Observaciones meteorológicas promedio por mes del año 2006 al 2010 registradas en la Estación Meteorológica “José Abelardo Quiñones”.....	36
7. Propiedades físicas de un suelo franco arenoso.....	39
8. Valores del factor de fricción de Hazen Williams según el tipo de material .....	41
9. Resultado de la evapotranspiración real del cultivo por día utilizando el programa Cropwat.....	48
10. Precipitaciones mensuales confiables al 75% de probabilidad y la precipitación efectiva que se da en la zona del vivero .....	49
11. Resultado del cálculo de las necesidades netas diarias de riego para la unidad N° 9 del vivero .....	51
12. Resultado del cálculo de los parámetros de riego par la unidad N° 9 del vivero .....	53
13. Resultado de la información técnica del lateral o porta emisor del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.....	55

14.	Resultado de la información técnica de la tubería terciaria del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.....	57
15.	Resultado de la información técnica de la tubería secundaria del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.....	58
16.	Resultado de la información técnica de la tubería primaria del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.....	59
17.	Resultado de la pérdida de carga y presión del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero .....	60
18.	Resultado de la media de todos los caudales emitidos por los microaspersores del sistema de riego de la unidad N° 9 del vivero .....	63
19.	Resultado de la evaluación del coeficiente de uniformidad de caudales del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero .....	64
20.	Resultado de la media pluviométrica recogida por recipiente del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.....	65
21.	Resultado de la suma de todos los valores absolutos de la diferencia entre la pluviometría recogida y la media de la pluviometría recogida .	66
22.	Resultado del coeficiente de uniformidad de distribución.....	67
23.	Coeficiente de cultivo en sus diferentes fases para frutales tropicales según FAO (2006).....	75
24.	Presupuesto base de la instalación del sistema de riego por microaspersión en la unidad N° 9 del vivero .....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Pág.</b>
1. Cálculo de la evapotranspiración de referencia mediante el programa Cropwat.....	37
2. Evaluación del coeficiente de uniformidad de caudales.....	46
3. Evaluación de la uniformidad de distribución de los laterales .....	47
4. Características y especificaciones técnicas del microaspersor 8855...	80
5. Pérdida de carga en base a tuberías de PVC de menor presión por cada diámetro y el factor de fricción de Hazen – Williams .....	81
6. Pérdida de carga en base a tuberías de PEAD de menor presión por cada diámetro y el factor de fricción de Hazen – Williams .....	82
7. Reconocimiento del terreno .....	84
8. Instalación del cabezal de riego .....	84
9. Instalación de la tubería primaria y secundaria .....	85
10. Instalación de la tubería terciaria.....	85
11. Instalación y funcionamiento de los laterales de riego .....	86
12. Instalación de los microaspersores en los laterales de riego .....	86
13. Instalación del cabezal de riego culminado.....	87
14. Instalación del sistema de riego por microaspersión culminado .....	87
15. Evaluación del coeficiente de uniformidad de caudales.....	88
16. Evaluación de la uniformidad de distribución de los laterales .....	88
17. Plano N° 1 .....	89
18. Plano N <sup>a</sup> 2 .....	90

## I. INTRODUCCIÓN

El riego agrícola se define como la técnica de producción ya sea en campo o en vivero cuyo objetivo, es racionalizar, satisfacer y aportar las necesidades hídricas de los cultivos de manera eficiente y en el momento oportuno, para reponer en éste, el agua consumida por los cultivos, incidiendo en el control más estricto del riego y la fertilización para generar menor impacto ambiental. La selección de uno u otro tipo de riego podrá depender de varios factores relacionados con el cultivo, entre ellos, la ubicación donde se va a desarrollar el cultivo, bien en campo o en vivero, en suelo o elevado en mesa de cultivo, la especie cultivada, el grado de sectorización necesario, el costo económico, la uniformidad deseada, la disponibilidad y la calidad del agua.

Frente a la demanda de recursos hídricos, nos encontramos en la obligación de mejorar el diseño y manejo de los sistemas de riego utilizados en la agricultura, de tal manera de elevar la uniformidad y eficiencia del riego agrícola. Para tal fin, es necesario utilizar métodos más modernos, como son los sistemas de riego presurizados dentro de los cuales, en orden creciente de importancia, se encuentran el riego por aspersión, microaspersión y goteo.

En el Perú, la superficie de suelo bajo riego seguro alcanza aproximadamente a 1.7 millones de hectáreas, de las cuales menos de 1,3 millones de hectáreas cuentan con riego tecnificado. De esta superficie, 1.1 millones de hectáreas corresponden al riego por superficie, 0.12 millones de hectáreas corresponde al riego por aspersión y 0.07 millones de hectáreas

corresponden al riego localizado (goteo y microaspersión), mayoritariamente implementados (VÁSQUEZ *et al.*, 2008).

De lo anterior, se desprende que aún falta mucho por realizar en términos de introducción de tecnología en la práctica del riego. Para ello, el agricultor y las entidades públicas o privadas del sector agrícola deberán también formular proyectos en cuanto al manejo del agua, principalmente en la sierra y en la selva donde la tecnología es pobre cuya motivación y respaldo de aplicación la tiene el Ministerio de Agricultura.

Asímismo, nos proyectamos que se pueda contar con un sistema de riego tecnificado para el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva por el cual se pretenda comprobar bajo nuestras propias condiciones la utilidad del sistema. Por tanto se persigue los siguientes objetivos:

- Diseñar y construir un sistema de riego tecnificado por microaspersión en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Evaluar la eficiencia del sistema de riego por microaspersión en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva
- Mejorar el método de riego del vivero la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Consideraciones generales

#### 2.1.1. Definiciones de riego

El riego permite completar las necesidades de agua de los cultivos que no son satisfechas por la lluvia. El riego tiene como finalidad suministrar el agua necesaria a los cultivos, de forma tal que no sufran pérdidas de producción, además de producir efectos muy beneficiosos al crear un ambiente favorable para el desarrollo de los cultivos (MEDINA, 1997).

También se define al riego como la práctica, de aplicar agua a la zona de las raíces creando un microclima favorable para el crecimiento de las plantas, mediante el enfriamiento del suelo y el aire alrededor de la planta (VÁSQUEZ *et al.*, 2008).

Tradicionalmente, el punto óptimo de riego se define como aquel en la que la humedad del suelo representa una determinada fracción del agua útil de la zona radicular, donde el agua útil es la cantidad de agua limitada superiormente por la capacidad de campo e inferiormente por el punto de marchitez. Con frecuencia esa fracción se establece en un tercio del agua útil, es decir que se aplica el riego cuando se ha consumido la tercera parte del agua almacenada y en el suelo quedan dos tercios de la misma agua (PIZARRO, 1990).

### **2.1.2. Clasificación de los métodos de riego**

Se pueden clasificar desde el riego tradicional que generalmente hace uso de la gravedad hasta el riego con estructuras complejas, en función a la tecnología del cultivo. Los métodos de riego pueden clasificarse del siguiente modo:

#### **a. Riego de superficie o por gravedad**

Comprende el riego por inundación, en pozas tradicionales y surcos cortos o en pozas con nivelado de precisión, el riego por sumersión en pozas para arroz, el riego por infiltración en surcos o en fajas y el riego por escorrentía libre (SANTOS, 2010).

#### **b. Riego por aspersión**

Con sistemas estáticos y disposición en cuadrícula, fijos o móviles, con sistemas móviles de cañón o sobre carro tirada por enrollador por cable, y sistemas de lateral móvil, pivotante o de desplazamiento lineal (SANTOS, 2010).

#### **c. Riego localizado**

Bajo este concepto de riego localizado comprenden el riego por goteo, por cintas, por microaspersión, por microyect, etc., los cuales requieren para su funcionamiento una determinada presión, lo que obliga el uso de conductos cerrados o tuberías para su conducción, distribución y aplicación del agua; surgiendo el concepto de riego presurizado (CNR. INIA, 1999).

#### **d. Riego subterráneo**

El humedecimiento del suelo se realiza por medio de humidificadores colocados debajo de la planta, aproximadamente a 40 - 45 cm utilizando tubería perforada o tubería porosa. También puede regarse en forma subterránea, a través del control de niveles freáticos, donde se mantiene la humedad del terreno en niveles deseados (CISNEROS, 2003).

#### **2.1.3. Eficiencia de aplicación de los métodos de riego (Ea)**

En la operación de todo sistema de riego, ocurre pérdida de agua tanto en el sistema de almacenamiento, conducción, distribución y a nivel parcelario mismo. Sin embargo, se considera el agua como un recurso vital y sumamente escaso. En este sentido, su manejo debe ser eficiente a fin de preservar y conservar dicho recurso, para asegurar su sostenibilidad en el tiempo y en el espacio (VÁSQUEZ *et al.*, 2008).

En el diseño de un sistema de riego, se deben considerar las pérdidas, que ocurren, con el fin de asegurar el abastecimiento adecuado y oportuno de agua para el riego de los cultivos. Los valores que a continuación se detallan en el Cuadro 1, se utilizan para sistemas de riego por goteo, microaspersión, aspersión y superficie (CARRAZÓN, 2007).

**Cuadro 1.** Eficiencia de aplicación de los diferentes sistemas de riego.

<b>Sistema de riego</b>	<b>Eficiencia de aplicación (Ea)</b>
Goteo	95%
Microaspersión	90%
Aspersión	75%
Superficie	50%

Fuente: CARRAZÓN (2007).

#### **2.1.4. Tiempo de aplicación (Ta)**

El tiempo de aplicación no es más que el tiempo que deberá estar regando cada sistema de riego y dependerá de dos factores (CARRAZÓN, 2007): de la tasa de infiltración y de la pendiente del terreno.

- a) La tasa de infiltración básica del suelo: la dosis bruta de riego (el volumen de agua) deberá aplicarse en un tiempo lo suficientemente largo como para que no se produzca encharcamiento.
  
- b) La pendiente del terreno: en aspersión o microaspersión (sólo sucede en estos métodos de riego), si la pendiente del terreno es muy pronunciada, puede producirse escorrentía si el caudal que lanzan los aspersores es demasiado alto, aun cuando ese caudal sea menor a la tasa de infiltración básica ( $I_b$ ).

**Cuadro 2.** Valores del factor de reducción por la pendiente

<b>Pendiente</b>	<b>Factor de reducción por la pendiente (fp)</b>
0 - 8%	100%
9 - 20%	80%
Mayor de 20%	60%

Fuente: CARRAZÓN (2007).

### **2.1.5. Elección de los métodos de riego**

Con el fin de seleccionar el uso de uno u otro método de riego, los factores de selección pueden ser diversos y algunas veces complejos, no por el aspecto técnico, sino más bien como resultado de la mezcla del aspecto social y económico. Para sintetizar podemos mencionar que existen en la selección del método de riego, entre otros, los siguientes aspectos (CISNEROS, 2003):

- a) Sociales (el agricultor puede desconocer las ventajas de ellos o se aferra a uno sólo por tradición).
- b) Económicos (algunas veces en función de créditos y/o de la relación beneficio - costo)
- c) Topográfico (de acuerdo a la pendiente del terreno).
- d) Agrológicos (características generales del suelo).
- e) Agronómicos (tipo de cultivo, rentabilidad).

Por lo tanto, la elección de los métodos de riego está impuesta por un gran número de factores (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Factores que favorecen la elección del método de riego.

<b>Factores</b>	<b>Riego de superficie</b>	<b>Aspersión</b>	<b>Riego localizado</b>
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	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

Fuente: SANTOS (2010).

## **2.2. Panorámica del riego localizado**

El riego localizado se utilizó por primera vez en Inglaterra a finales de la década de los 40, y en la década de los 50 en Israel. Comercialmente, se desarrolló en la década de los 60, producto de los trabajos realizados por Israel y lo barato de las tuberías plásticas con respecto a las metálicas (VERMEIREN y JOBLING, 1986).

Según FUENTES (1998), el riego localizado se caracteriza por:

- No moja, en general, la totalidad del suelo, aplicando el agua sobre o bajo su superficie.
- Utiliza pequeños caudales a baja presión.
- Aplica el agua en la proximidad de las plantas a través de un número variable de puntos de emisión.
- Al reducir el volumen de suelo mojado y, por tanto, su capacidad de almacenamiento de agua, se opera con la frecuencia necesaria para mantener un alto contenido de humedad en el suelo.

Los sistemas de riego localizado constituyen un cambio en la forma de aplicar el agua. Esta tecnología garantiza el suministro dirigido hacia las raíces de las plantas de cantidades pequeñas de agua mezclada con fertilizante, utilizando dispositivos específicos denominados dosificadores o goteros (VERMEIREN y JOBLING, 1986).

La rápida generalización del riego localizado en el mundo se debe a sus grandes ventajas comparada con otras técnicas como son el ahorro de agua y de conservar la aireación del suelo y la factibilidad de aplicación en terrenos no nivelados y de topografía irregular. Sin embargo, es una realidad que la elección de estos sistemas sólo se justifica económicamente cuando se aplican a cultivos de alta rentabilidad debido a su alto costo por hectárea (AIDAROV *et al*, 1985).

Los autores antes citados, plantearon una peculiaridad de estos sistemas es la forma y dimensiones del área humedecida por un emisor, comúnmente llamado bulbo húmedo que depende de varios factores entre los cuales tenemos (tipo de suelo, estratificación del suelo, caudal del emisor y volumen de agua aplicado por el emisor); la localización de la humedad dentro del mismo, trae consigo, la adaptación de las raíces al régimen de humedad, concentrándose en el bulbo húmedo, que puede contener una densidad de raíces tres o cuatro veces superior a un suelo con riego no localizado.

### **2.2.1. Ventajas del riego localizado**

Las ventajas según MEDINA (1997) son:

- Ahorra agua, pues minimiza las pérdidas por conducción y aplicación. En cultivos espaciados no humedece toda el área de la zona radical.
- Ahorra energía comparada con la aspersion de carga media y alta.
- Disminuye la mano de obra necesaria para la explotación de los sistemas; por ser un sistema estacionario, además permite de una forma relativamente fácil la automatización.
- Permite llevar a cabo las labores de fertilización junto al riego y reduce las hierbas indeseables en las calles.
- Puede ser utilizado en topografías accidentadas.

### **2.2.2. Desventajas del riego localizado**

Las desventajas según MEDINA (1997) son:

- Requiere la presencia de personal calificado para dirigir y controlar la explotación del sistema de forma directa.

- Requiere que se filtre el agua para evitar tupiciones en los emisores.
- Algunos de los elementos del sistema pueden ser susceptibles al ataque de roedores.
- Incremento de los costos de inversión inicial comparado con el sistema de aspersión semi-estacionario.
- En las etapas de fomento de cultivos como cítricos y plátanos, la uniformidad del riego en los sistemas de microaspersión 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.

### **2.2.3. Tipos de riego localizado**

Los sistemas de riego localizado se agrupan en dos tipos, En función del tipo de emisor utilizado y su colocación a los que corresponden trazados y cálculos hidráulicos diferentes:

#### **a. Riego por goteo y cintas**

Donde el agua se aplica lentamente a la superficie del suelo a través de pequeños orificios emisores, llamados goteros, las cintas llevan en cada cierta distancia canales de flujo turbulento que emiten agua, los emisores emiten caudales de 2 a 8 L/h (SANTOS, 2010).

Es el sistema de riego localizado más popular, el agua circula a presión por la instalación hasta llegar a los goteros, en los que se pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota, son utilizados normalmente en

cultivos con marco de plantación amplio, cultivo en invernadero, y en algunos cultivos en línea (RODRIGO *et al*, 1997).

#### **b. Riego por microaspersión y microdifusión**

Donde 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 L/h. (SANTOS, 2010).

Los microaspersores y microdifusores permiten dar un mojamiento localizado a las plantas. La diferencia entre microaspersores y microdifusores es que en los primeros el chorro de agua va rotando y en los últimos es estático (CNR. INIA, 1999).

### **2.3. Sistema de riego para uso en vivero**

Aunque son varios los sistemas de riego utilizados en los viveros, todos ellos deberían tener como objetivo común racionalizar, aportar y satisfacer eficientemente en el momento oportuno las necesidades de agua a los plantones del vivero, incidiendo en el control más estricto del riego y la fertilización para generar menor impacto ambiental (REVISTA EXTRA, 2005).

#### **2.3.1. Selección del tipo de riego en vivero**

La selección de uno u otro tipo de riego podrá depender de varios factores relacionados con el cultivo, entre ellos, la ubicación donde se va a desarrollar el cultivo, bien en vivero o en el exterior, en suelo o elevado en

mesa de cultivo, la especie cultivada, el grado de sectorización necesario, la movilidad precisada en la programación del cultivo, del costo económico, la uniformidad deseada, la disponibilidad de agua y la calidad del agua (REVISTA EXTRA, 2005).

Los criterios para definir una clasificación de los diversos tipos de riegos son varios, siendo el propio diseño del emisor, el alcance, y el tamaño de la gota, los más utilizados.

#### **2.4. Sistema de riego por microaspersión**

En riego por microaspersión, el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando una zona determinada que depende del alcance de cada emisor. Está indicado tanto para cultivos leñosos como para cultivos herbáceos de distinto marco de plantación. Se distinguen los emisores denominados micro difusores los cuales están constituidos por toberas fijas y micro aspersores a los constituidos por deflectores móviles. (RODRIGO *et al.*, 1997).

En suelos muy permeables en los que el bulbo húmedo se desarrolla mucho en profundidad y poco en anchura, el empleo de emisores de bajo caudal ha dado lugar a riegos totalmente insuficientes en cuanto al área de suelo mojado. Para estos casos, ha surgido la solución de los microaspersores y difusores (PIZARRO, 1990).

El agua pulverizada se distribuye por el aire y cuando cae a tierra humedece una superficie cuyo radio es del orden de 0.5 – 3.5 metros, aunque en algunos modelos el alcance es superior al indicado (PIZARRO, 1990).

#### **2.4.1. Características del riego por microaspersión**

Las principales características según PIZARRO (1990).

- El agua es aplicada en forma de lluvia, cubriendo una parte de la superficie ocupada por la planta.
- Suelen trabajar a mayor presión que los goteros, generalmente entre 10 y 20 metros columna de agua (m.c.a.), aunque pueden llegar a 30 m.c.a.
- Los caudales varían entre 20 y 150 L/h, pero hay modelos que alcanzan más de 300 L/h.
- El aire es el principal medio de propagación del agua.

#### **2.5. Componentes de un sistema de riego por microaspersión**

##### **2.5.1. Centro de control**

El cabezal de riego o centro de control, corresponde al conjunto de elementos cuya función es la de captar e impulsar el caudal del sistema a la presión requerida, desde la fuente de agua hasta el inicio de la red hidráulica, previo filtrado e incorporación de los nutrientes a través de su inyección en el agua de riego (CNR. INIA, 1999).

Para lograr lo anteriormente señalado, se debe contar con: la fuente de agua, cámara de aspiración, fuente de energía, bomba centrífuga, sistema de filtrado primario (arena o anillas), sistema de filtrado secundario (malla), inyector de fertilizantes, controlador de riego, caudalímetro y manómetros para monitoreo de flujo al inicio de la red hidráulica y presión, respectivamente (MEDINA, 1997).

### **2.5.2. Red de tuberías**

La red de tuberías se inicia en el centro de control y constituye el sistema de distribución del agua desde el centro de control hasta los puntos de emisión, ubicados en las proximidades de cada planta. La red está compuesta por una tubería principal, secundarias, y terciarias, todas bajo el terreno y finalmente los laterales de riego (sobre el terreno), paralelos a las hileras de cultivo, los cuales, soportan los puntos de emisión de agua (MEDINA, 1997).

Complementan la red anterior, los conectores que permiten la unión de las tuberías y válvulas que permiten el paso del agua, regular la presión y caudal, facilitar el flujo inverso en sistemas de filtrado, evitar el golpe de ariete o eliminar el aire acumulado dentro de ellas (MOYA, 1994).

### **2.5.3. Red eléctrica**

Corresponde al conjunto de elementos que permiten transportar la energía eléctrica desde la fuente, localizada en las proximidades del centro de control, hasta los tableros eléctricos y equipos ubicados al interior de este.

Incluye: transformador, tablero general exterior, medidor, tablero general interior, tablero para control de bombas, alimentación del controlador de riego, iluminación, etc. Incluye además, la red de cableado desde el controlador de riego hasta las válvulas hidráulicas, localizadas en diferentes puntos de la red de tuberías (MOYA, 1994).

#### **2.5.4. Emisores**

Son los elementos más importantes de la instalación, ya que permiten la salida del agua a la dosis requerida y con la presión necesaria. Las características fundamentales que deben tener son: caudal uniforme y constante, baja sensibilidad a las variaciones de presión, temperatura y obturaciones; resistencia al ataque de insectos, roedores, agentes químicos y ambientales. Por último, deben tener una reducida pérdida de carga de conexión y finalmente bajo costo (MOYA, 1994).

La mayoría de los emisores trabaja a una presión próxima a los 10 metros columna de agua (m.c.a); aunque los de alto caudal pueden hacerlo de 20 hasta 30 m.c.a y en el otro extremo, los caudales varían entre 25 y 120 L/h en los emisores de bajo caudal y en los de alto caudal pueden llegar hasta 150 L/h (CNR. INIA., 1999).

#### **2.6. Diseño de un sistema de riego localizado**

El diseño de una instalación de riego es el primer eslabón de una cadena compuesta por la fase agronómica e hidráulica, ejecución de la instalación y normas de operación y conservación del sistema (RODRIGO *et al.*, 1997).

Deben conocerse además, los parámetros que determinan las restricciones que debe someterse el proyecto, como son la geometría del terreno, el tipo de suelo, su localización, la cantidad y calidad de agua disponible, el tipo y ubicación de la energía, las posibles restricciones o limitaciones legales, etc. (RODRIGO *et al.*, 1997).

### **2.6.1. Diseño agronómico**

Es la parte del proyecto, donde se determinan elementos claves del sistema, como son: la evapotranspiración de las plantas, disposición de emisores, precipitación por hora de la instalación y el tiempo de riego necesario para reponer diariamente la evapotranspiración del cultivo (PIZARRO, 1990).

El diseño agronómico se desarrolla en dos pasos:

- a) Cálculo de las necesidades netas diarias de agua o riego: aquí se considera el clima de la zona, la fenología del cultivo y el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ), para determinar el requerimiento hídrico que se debe aplicar (CARRAZÓN, 2007).
- b) Cálculo de los parámetros de riego: se toma en cuenta las propiedades físicas del suelo presente en la zona, las cuales se mencionan en el Cuadro 4 y se utiliza para la determinar el Agua Utilizable (AU) mediante la fórmula  $(10 \times (C_c - P_{mp}) \times D_a \times Pr)$ . También se toma en cuenta los valores del Déficit Permisible de Manejo (DPM) que es el nivel de humedad donde las raíces tienen muchas dificultades para extraer agua del suelo por el mayor esfuerzo de succión que deben desarrollar, estos

valores se muestran en el Cuadro 5 y varían según el tipo de cultivo tolerante a la sequía. El (DPM) se utiliza para determinar la Dosis Neta de Riego (Dn) mediante la fórmula  $((DPM \times AU) / 100)$  (CARRAZÓN, 2007).

**Cuadro 4.** Propiedades físicas del suelo.

<b>Textura del suelo</b>	<b>Densidad aparente (Da) (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Capacidad de campo (Cc) (%)</b>	<b>Punto de marchitez permanente (Pmp) (%)</b>	<b>Infiltración básica (Ib) (mm/h)</b>
Arenoso	1.65 (1.55 - 1.90)	9 (6 - 12)	4 (2 - 6)	50 (25 - 250)
Franco arenoso	1.50 (1.40 - 1.60)	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)	25 (13 - 75)
Franco	1.40 (1.35 - 1.50)	22 (18 - 26)	10 (8 - 12)	13 (8 - 20)
Franco arcilloso	1.35 (1.30 - 1.40)	27 (23 - 31)	13 (11 - 15)	8 (2.5 - 15)
Arcilloso	1.25 (1.20 - 1.30)	35 (31 - 39)	17 (15 - 19)	5 (1.3 - 10)

Fuente: CARRAZÓN (2007)

**Cuadro 5.** Valores del déficit permisible de manejo.

<b>Cultivo</b>	<b>Déficit permisible de manejo (DPM)</b>
Cultivos tolerantes a la sequía	50%
Cultivos menos tolerantes a la sequía	30%

Fuente: CARRAZÓN (2007)

El diseño ha de garantizar que la instalación pueda suministrar, con una alta eficiencia, las necesidades hídricas diarias del cultivo durante el periodo de máximo consumo, estimado en base a las características del cultivo y parámetros climáticos, mojando además, un volumen de suelo suficiente para su adecuado desarrollo (RODRIGO *et al.*, 1997).

### **2.6.2. Diseño hidráulico**

A partir de los datos calculados en el diseño agronómico y la superficie total a regar, se determinan los sectores de riego, para un período de operación del sistema entre 18 y 22 horas por día. De esta forma, se reducen los costos que significaría regar toda la superficie al hacerlo por parcialidades. Luego, tomando en cuenta la topografía de la zona a regar, se procede al diseño de la red hidráulica, calculando la tubería principal, secundaria, terciaria y lateral. Luego según las características del agua, su localización, la ubicación de la fuente de energía y facilidades para el manejo del sistema, se procede a diseñar el centro de control, considerando además, otros parámetros opcionales que se basan en criterios técnico-económicos y preferencias del usuario (RODRIGO *et al.*, 1997).

Los cálculos hidráulicos, se realizan partiendo desde el final de los sectores, avanzando hacia la fuente de agua del predio, Es decir, se calculan primero las presiones y caudales de entrada en las subunidades de riego y se continuará con las tuberías secundarias, hasta llegar a las primarias y terminar en el cabezal. Una vez determinados los componentes del cabezal, se

procederá a establecer la altura manométrica total, la que junto a la capacidad del sistema permitirá la sección de la bomba y características de los sistemas de filtrado y fertirrigación (RODRIGO *et al.*, 1997).

## **2.7. Evaluación de un sistema de riego localizado por micro aspersión**

La evaluación de una instalación de riego localizado es un procedimiento por el que se puede comprobar su correcto funcionamiento de forma que se pueda cumplir el objetivo primordial del riego, satisfacer las necesidades de agua del cultivo. También permitirá valorar si los materiales, sus características de diseño, mantenimiento y manejo son adecuados, así mismo comprobar si todo el cultivo recibe la misma cantidad de agua o en su caso determinar las diferencias (REKMANN *et al.*, 2005).

En un sistema de riego localizado es muy importante conocer si el agua de riego, los fertilizantes y demás productos fitosanitarios que se incorporen a ella se están aplicando de manera uniforme. Baja uniformidad de aplicación se traduce en excesos de agua y otras con déficit hídrico, además de un mal reparto de abono, y fitosanitarios. Todo ello supondrá una alteración del desarrollo del cultivo y por tanto de la producción (REKMANN *et al.*, 2005).

Según MERRIAM y KELLER (1978), la evaluación de un sistema de riego localizado por microaspersión incluye los siguientes aspectos:

- a) Adecuación del cabezal, para cubrir las necesidades de potencia y filtrado de la instalación.
- b) Estudio del diseño de la red y de la uniformidad de aplicación de agua.
- c) Determinación de la calidad de las tuberías y equipos instalados.
- d) Evaluación del manejo de la instalación por el agricultor.

### **2.7.1. Coeficiente de uniformidad de caudales (CUC)**

Determina la cantidad de agua que sale por los emisores del sistema en un determinado tiempo y a una presión determinada con el fin de que sea uniforme el riego en el área. Para su cálculo se elegirá un número determinado de emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad de riego (REKMANN *et al.*, 2005).

El coeficiente de uniformidad de caudales se define como:

$$\text{CUC} = 100 \times (\text{Q}_{25\%} / \text{Q}_e)$$

Dónde: CUC, es el coeficiente de uniformidad de caudales (%); Q<sub>25%</sub>, es la cantidad media infiltrada en el cuarto menor del área regada, correspondiendo a la cuarta parte del área regada que recibe menos agua; Q<sub>e</sub>, es el caudal medio de todos los emisores evaluados (REKMANN *et al.*, 2005).

### **2.7.2. Coeficiente de uniformidad de distribución (CUD)**

Determina la uniformidad de la distribución de los laterales del sistema de riego utilizando la formula de Christiansen, con el fin de que toda el área de riego tenga la mayor uniformidad de precipitación emitida por el

sistema. Para su cálculo se hará uso de recipientes colocados a distancias establecidas dentro del área de riego, se deja funcionar un determinado tiempo y a una determinada presión, luego se medirá la pluviometría (SANTOS, 2010).

El coeficiente de uniformidad distribución se define:

$$\text{CUD} = 100 \times (1 - \frac{\sum X_i}{m}) \quad \text{Donde } X_i = |Z_i - m| \quad \text{y} \quad m = \frac{\sum Z_i}{n}$$

Dónde: CUD, es el coeficiente de uniformidad de distribución (%);  $X_i = |Z_i - m|$ , es la desviación absoluta de las observaciones de precipitación individuales respecto a la media en  $\text{cm}^3$  o mm;  $Z_i$ , es la altura de agua medidos;  $n$ , es el número de pluviómetros; y  $m$ , es la media del  $Z_i$  (SANTOS, 2010).

### **2.7.3. Causas fundamentales de pérdidas de agua en este tipo de riego**

Según SANTOS (2010), las causas fundamentales son:

- Falta de uniformidad en la distribución (por variación de presión, defectos de fabricación, etc.).
- Pérdidas de agua en la red (percolación profunda, evaporación, etc.).

### **2.7.4. Causas de falta de uniformidad**

Según SANTOS (2010), las causas de falta de uniformidad son:

- Diferencias en las características de fabricación de los emisores.
- Errores en el montaje que no cumplen las especificaciones de diseño.
- Diferencias de presión en la red.
- Cambios físicos en la red, que se producen durante su explotación.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Descripción de las características de área experimental**

##### **3.1.1. Ubicación del campo experimental**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, situada en la ciudad de Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, siendo sus coordenadas (UTM): 18L 390735 m E 8970029 m S con una altitud promedio de 667.5 msnm. El vivero posee un área de 3249 m<sup>2</sup>, tiene estructura de concreto y metálico. Está constituido por 9 unidades todas conformadas por 5 camas, existiendo un total de 45 camas de 14 metros de largo, de las cuales 9 son de 2 metros de ancho y 36 son de 1.5 metros de ancho.

El trabajo de investigación se inició en el mes de julio comenzando con la elaboración del diseño hidráulico y agronómico trabajándose en gabinete; en el mes de agosto se dio inicio a la instalación del sistema de riego por micro aspersion y en el mes de setiembre se evaluó la eficiencia del funcionamiento del sistema de riego instalado.

##### **3.1.2. Descripción del área experimental.**

El terreno experimental es la unidad N° 9 del vivero la cual tiene un área de 178.2 m<sup>2</sup>, y está conformada por 5 camas de 14 m de largo de las cuales una es de 2 m de ancho y cuatro son de 1.5 m de ancho. Posee como sobra permanente la malla rachel de 50% de color negro.

### **3.1.3. Plantones cultivados en el vivero**

Son diversas las especies que se cultivan en el vivero de la Facultad de Agronomía, debido a los trabajos experimentales que realizan los alumnos de la universidad, sin embargo los plantones con mayor densidad que se desarrollan en el vivero son: cacao, café, cítricos, paltos, mangos y palma aceitera.

### **3.1.4. Topografía y fisiografía**

El terreno donde se instaló el sistema de riego por microaspersión es relativamente plano, cuya pendiente no excede al 1%, notándose una terraza baja según su ubicación dentro de la zona.

### **3.1.5. Clima**

El clima es característico de la región, es de bosque muy húmedo subtropical con una temperatura promedio de 32 °C, precipitación anual de 3400 mm con una humedad relativa de 85%.

## **3.2. Materiales, equipos y herramientas utilizados**

### **3.2.1. Materiales**

- Motor de 1 Hp
- Interruptor
- Cisterna de 1100 litros
- Válvula de pie

- Microaspersor 8855
- Manómetro
- Filtro de anillo 1"
- Válvula de aire
- Unión universal PVC 1"
- Manguera de polietileno de 16mm
- Manguera de polietileno de 25 mm
- Ramales y terminales de 16 mm
- Retenes
- Conectores
- Tubo de PVC 1"
- Codos, tees, uniones de PVC 1"
- Llave de paso PVC 1"
- Alambres N° 14
- Abrazaderas

### **3.2.2. Herramientas**

- Wincha
- Taladro
- Sierra
- Desarmador
- Tarraja
- Alicata
- Martillo

### **3.2.3. Herramientas de cómputo**

- Software Autocad 2011
- Software Cropwat 8.0
- Software S10

### **3.3. Métodos**

La metodología a utilizar en el desarrollo de la presente tesis, se basó en un análisis detallado de información, procediendo a caracterizar todos los aspectos de agua, suelo, clima y cultivo, necesarios para realizar las fases del proyecto de riego las cuales se clasifican en tres:

#### **3.3.1. Fase de diseño**

Esta fase se divide en dos partes, el diseño agronómico y el hidráulico.

##### **a. Diseño agronómico**

En esta parte se procedió a desarrollar los siguientes pasos:

- **Cálculo de las necesidades netas diarias de agua o riego para los plantones del vivero.**

Se consideraron los datos del clima registrados por la Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones, UNAS-Tingo María, así como a las características agronómicas de los plantones que se producen en el vivero,

determinando el requerimiento hídrico o necesidades netas de agua diarias que se debe aplicar.

**Cuadro 6.** Observaciones meteorológicas promedio por mes del año 2006 al 2010 registradas en la Estación Meteorológica “José Abelardo Quiñones”

Meses	Temperatura (°C)		Precipitación (mm)	H°R (%)	Horas de sol (Hora/día)	Velocidad de viento (Km/h)
	Máx.	Mín.				
Enero	29.17	22.52	440.80	86.80	3.30	73.18
Febrero	29.07	22.60	492.20	86.60	2.80	62.42
Marzo	29.18	22.48	407.00	86.90	3.20	74.63
Abril	29.95	22.65	284.70	86.00	4.60	78.85
Mayo	29.82	22.40	195.60	84.80	5.20	64.04
Junio	29.54	21.86	111.80	84.90	5.80	72.27
Julio	29.73	21.49	165.10	84.50	6.30	94.99
Agosto	30.32	22.11	98.50	83.20	6.10	101.34
Septiembre	30.65	22.06	158.90	82.50	6.10	99.38
Octubre	30.52	22.65	273.60	83.80	4.80	93.59
Noviembre	30.05	22.75	371.60	84.80	4.60	78.73
Diciembre	30.32	22.47	473.20	87.00	3.30	55.05
Total	358.32	268.04	3473.00	021.80	56.10	948.47
Promedio	29.86	22.34	289.42	85.15	4.68	79.04

Utilizando el software Cropwat (crop = cultivo; wat = agua) un programa creado por la FAO que utiliza el método de Penman-Monteith, se procedió a determinar la evapotranspiración referencial para la zona del vivero, donde se introdujeron datos del clima así como: temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad de viento y horas sol. Los valores del coeficiente de cultivo (Kc) para plántones de frutales han sido obtenidos de tablas propuestas por la FAO y escogidas tomando criterios específicos para cada caso, las cuales se observan en el anexo en el Cuadro 23 (FAO, 2006).

CROPWAT - Session: untitled - Monthly ETo Penman-Monteith - D:\PROYECTO DE TESIS-DANNY\elaboracion del diseño aggronomico\CRO

File Edit Calculations Charts Settings Window Help

New Open Save Close Print Chart Options

Country PERU Station JOSE A. QUIRONES

Altitude 660 m Latitude 9.18 °N Longitude 76.01 °E

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sunshine hours	Radiation MJ/m <sup>2</sup> /day	ETo mm/day
January	22.5	29.2	87	73	3.3	12.7	2.69
February	22.6	29.0	87	62	2.8	12.8	2.76
March	22.5	29.2	87	75	3.2	14.2	3.03
April	22.7	29.9	86	79	4.6	16.6	3.51
May	22.4	29.8	85	64	5.2	17.1	3.60
June	21.9	29.5	85	72	5.8	17.7	3.65
July	21.5	29.7	84	95	6.3	18.5	3.79
August	22.1	30.3	83	101	6.1	18.6	3.90
September	22.1	30.1	82	99	6.1	18.6	3.90
October	22.6	30.5	84	94	4.8	16.0	3.41
November	22.7	30.1	85	79	4.6	14.7	3.12
December	22.5	28.9	87	55	3.3	12.4	2.60
Average	22.3	29.7	85	79	4.7	15.8	3.33

ETo file: vivero.pem

Rain file

Crop file

Soil file

Figura 1. Cálculo de la evapotranspiración de referencia mediante el programa Cropwat.

Con el producto de la evapotranspiración de referencia y el coeficiente del cultivo de los plantones del vivero se determinó el consumo de agua de los plantones que viene a ser la evapotranspiración real.

Para calcular la precipitación efectiva se propusieron las ecuaciones utilizadas por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS). Estas ecuaciones se calculan a partir de la precipitación mensual (la probable, no la promedio), donde la probabilidad de ocurrencia (Pr) de cada valor de precipitación anual se calculó mediante la llamada fórmula de Hazen,, a partir de ahí se obtuvo un índice del 75% probabilidad de ocurrencia de lluvia (P75%), para los diferentes meses del año, las ecuaciones se mencionan en el anexo (CARRAZÓN, 2007).

Calculando la diferencia entre la evapotranspiración real de los plantones y la precipitación efectiva de la zona se determinaron las necesidades netas diarias de agua o riego para los plantones del vivero.

#### - **Cálculo de los parámetros de riego**

Se tomó en cuenta el tipo de suelo (textura franco arenoso) que se emplea en el vivero y sus coeficientes hídricos tales como: Capacidad de campo (Cc), Punto de marchitez permanente (Pmp) e Infiltración básica (Ib), las cuales se muestran en el Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Propiedades físicas de un suelo franco arenoso.

<b>Textura del suelo</b>	<b>Densidad aparente (Da) (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Capacidad de campo (Cc) (%)</b>	<b>Punto de marchitez permanente (Pmp) (%)</b>	<b>Infiltración básica (Ib) (mm/h)</b>
Franco arenoso	1.50 (1.40 - 1.60)	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)	25 (13 - 75)

Fuente: CARRAZÓN (2007)

Considerando a los plantones que se producen en el vivero, se estimó un valor promedio de 30 cm, para la profundidad de raíz (Pr) a partir del tamaño de las bolsas que se utilizaron.

Para el cálculo de la dosis neta de riego (Dn), dada la alternativa de los plantones presentes en el vivero, al no ser ninguno un cultivo de extremo delicado, podemos considerar un déficit permisible de manejo (DPM) del 50%, como se explica en el manual de mini riego (CARRAZÓN, 2007).

El tiempo de operación del sistema (Tos) es de 12 minutos; es el tiempo en que el tanque de 1100 litros queda totalmente vacío cuando el sistema emite un caudal de 1.45 litros por segundo según el aforo realizado y poder determinar el área regable.

Se consideró la eficiencia de riego de 90%, ya que el sistema de riego que se está empleando es por microaspersión.

Luego, empleando formulas mencionadas en el Cuadro 12, se calculó el tiempo de riego, el intervalo de riego y con estos el número de emisores por cama o espacio de riego donde finalmente se llegó a conocer la capacidad requerida del sistema.

El resultado final del diseño se dibujó con la utilización del software Autocad 2010, obteniéndose las dimensiones reales del sistema por microaspersión que se encuentra en el plano N° 2 del Anexo.

#### **b. Diseño hidráulico**

Con el diseño hidráulico se determinó el dimensionamiento del equipo de bombeo y toda la red de tuberías (primarias, secundarias, terciarias y laterales) que lo componen adecuándose a las características de los microaspersores para su buen funcionamiento.

De acuerdo con el catalogo del microaspersor seleccionado, las características y especificaciones técnicas son:

- Microaspersor: modelo 8855
- Caudal (Qasp): 34 litros por hora
- Diámetro de alcance: 2 a 7.5 metros
- Presión de trabajo: 1 bar
- Requisito de filtrado: según a la boquilla desde 70 a 40 mesh.
- Boquilla estándar: color azul

Para tal efecto, se utilizó criterios de diseño preestablecidos, se calcularon las pérdidas de carga utilizando la fórmula de Hazen - Williams extraídas de SANTOS, (2010) para las diferentes combinaciones de diámetros y longitudes de tuberías considerando el factor de fricción según el tipo de material que se está utilizando y se presentan en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Valores del factor de fricción de Hazen - Williams según el tipo de material.

<b>Material</b>	<b>Factor de fricción</b>
Policloruro de vinilo (PVC)	150
Polietileno de alta densidad (PEAD)	140

Finalmente se determinó la combinación, que genera requerimientos de presión para el caudal necesario, de tal manera que se pudo aplicar las necesidades de agua a los plantones del vivero en el tiempo establecido, teniendo en cuenta el diseño agronómico previamente realizado. Las formulas empleadas en el diseño hidráulico están mencionadas en el Cuadro 17 y la fórmula de Hazen - Williams en el Anexo.

El presupuesto total y los análisis de costos unitarios de la instalación se desarrolló mediante el software S10 Presupuestos 2005, de origen peruano para el cálculo de costos directos (costo de mano de obra y materiales) e indirectos; los cálculos se encuentran en el anexo en el Cuadro 24.

### **3.3.2. Fase de construcción del sistema de riego por microaspersión**

En esta fase se procedió a desarrollar los siguientes pasos:

#### **a. Obras preliminares**

- **Campamento de obra.** Para ello se obtuvo permiso del encargado del vivero para dar uso del almacén del vivero. Con la finalidad de guardar y dar seguridad a los materiales, herramientas y equipos contra factores adversos.

#### **b. Trabajos preliminares**

- **Limpieza del terreno.** Comprendió el trabajo inicial consistiendo en la limpieza del área para la construcción del sistema de riego, e involucra la eliminación de todos los materiales que imposibilitan la ejecución de la obra.
- **Trazo y replanteo.** Esta actividad consistió en llevar el contenido del plano diseñado al terreno de operaciones; para ello implicó plasmar sobre el terreno natural todos los elementos que el plano contenía. El plano N° 2 se encuentra a una escala 1:100.

**c. Movimiento de tierra**

- **Excavación de zanjas.** Los trabajos de excavación se adaptaron a las exigencias específicas de las obras, donde las medidas de la zanja tanto ancho como de altura están relacionados con el diámetro de las tuberías y a las condiciones naturales del subsuelo.
  
- **Relleno.** Se efectuó el relleno después de realizada la instalación de la tubería primaria compactada con pisón de mano. El material de relleno destinado está en contacto directo con la tubería, constituido por capas de arena previamente zarandeado, de 20 cm de espesor.
  
- **Eliminación del material excedente.** Después de efectuar las excavaciones todo el material excedente que no fue empleado, así como el desmonte resultante de la obra en sí, fue eliminado del perímetro de trabajo y colocado en lugares adecuados.

**d. Obras civiles**

La construcción de la infraestructura del vivero así como los cimientos, sobrecimientos, columnas, vigas y las camas donde van los plantones han sido construidos por la Facultad de Agronomía y no se consideró en el presupuesto del trabajo de investigación.

**e. Obras de instalación del sistema de riego por microaspersión**

- **Cabezal de riego.** Para el armado del cabezal de riego se utilizó un motor de un Hp, tubería de succión con su válvula de pie, tanque de 1100 Lt, uniones universales, manómetro, válvula de aire y filtro de anillo, las cuales fueron unidas de modo roscable (anillos hechos con tarraja) forrados con teflón a una determinada distancia entre ellos para la observación de la operación en conjunto. Para el funcionamiento del cabezal de riego se instaló un toma corriente para la operación del motor.
- **Red principal de conducción.** Aquí se realizó el refine de la zanja incluido la cama de arena cernida libre de materiales cortantes y las conexiones de la línea primaria de material de PVC de 1 pulgada de diámetro, a ciertas distancias mencionadas en plano N° 2, se colocaron una llave de paso para la mejor distribución del agua.

La línea secundaria se instaló de forma verticalmente apoyado por la columna de la unidad N° 9 del vivero para luego unir la línea terciaria, también se colocó una llave de paso para una mejor distribución del agua.

La línea terciaria material de polietileno de 1 pulgada de diámetro se instaló uniéndolo con la línea secundaria a una altura de 2.25 metros del

suelo. Se colocó alambre N° 14 alrededor de la línea para sujetar y evitar que se mueva.

- **Laterales de riego y emisores.** En esta parte se instalaron las laterales de riego que son las mangueras de polietileno 16 milímetros (mm) a una altura de 2.25 metros del suelo y los microaspersores a una altura de 1.80 metros del suelo, los laterales fueron insertados a línea terciaria haciéndoles orificios y colocando los retenes alrededor del orificio para evitar fuga de agua, luego se insertaron los conectores seguidamente de los ramales (llave de paso de polietileno de 16 mm) para luego unir los laterales. Los microaspersores fueron insertados al inicio del lateral a 0.70 m y entre microaspersores a 1.40 m medidas propuesta en el diseño hidráulico.

### **3.3.3. Fase de evaluación del sistema de riego por microaspersión**

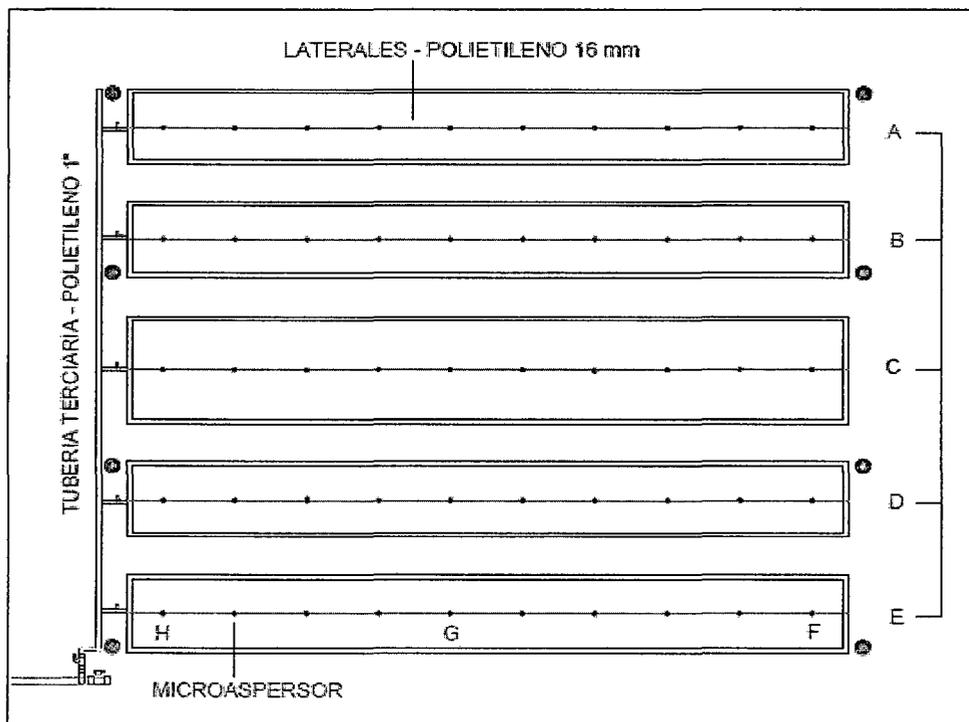
En esta fase se verificó la operación de la unidad de riego, a través de la utilización del coeficiente de uniformidad de caudales (CUC) y el coeficiente de uniformidad de distribución del lateral por Christiansen (CUD).

#### **a. Coeficiente de uniformidad de caudales**

Elegido según la siguiente metodología: Se puso a funcionar el sistema de acuerdo con las condiciones normales de manejo. De la unidad se escogieron los cinco laterales (A, B, C, D, E), de cada uno de estos laterales se seleccionaron tres emisores (F, G, H), el primero es el más cercano al punto

de alimentación de la tubería terciaria, el segundo se situara en parte media del lateral y el tercero está situado en el punto más alejado del lateral como se aprecia en la Figura 2.

Durante el tiempo de un minuto se recogió en recipientes el agua que salió por los emisores seleccionados, estos volúmenes se midieron con probeta graduada y se anotó en el cuaderno de campo luego se calculó la media de los caudales de los emisores que representan la cuarta parte o el 25% con el más bajo caudal de la muestra ( $Q_{25\%}$ ), en este caso se calculó la media de los tres emisores de menor caudal de un total de diez. También se calculó la media de todos los caudales evaluados ( $Q_e$ ). El cálculo del coeficiente de la uniformidad de caudales se menciona en el Cuadro 19.

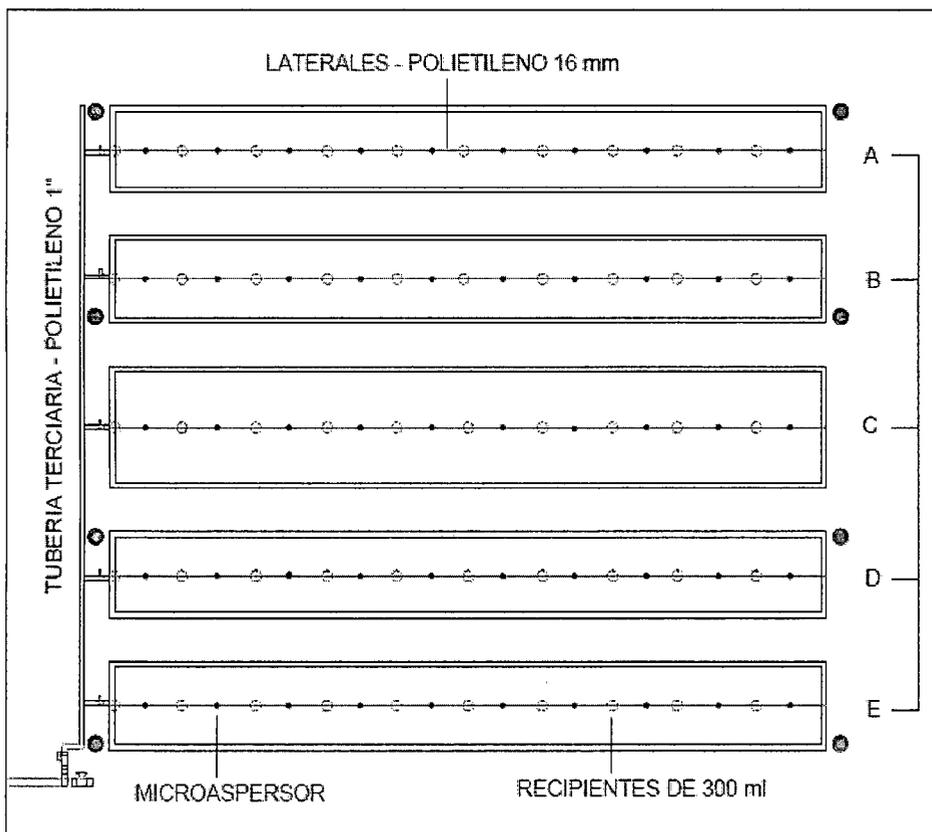


**Figura 2.** Evaluación del coeficiente de uniformidad de caudales.

**b. Uniformidad de distribución del lateral por Christiansen**

Se colocaron recipientes de 300 mililitros cada 1.40 m a lo largo del lateral de cada cama, partiendo del inicio de las camas tal como se muestra en la Figura 3, luego se dejó funcionar el sistema a 1.5 bar o 15 m.c.a. durante 18 minutos tiempo requerido para realizar el riego en las camas, con una probeta se comenzó a medir la pluviometría de cada recipiente y se anotó en el cuaderno de campo.

Se calculó la uniformidad de distribución de los laterales utilizando la fórmula de Christiansen. Las fórmulas para el cálculo se mencionan en el Cuadro 22.



**Figura 3.** Evaluación de la uniformidad de distribución de los laterales

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Del diseño agronómico

#### 4.1.1. Necesidades netas diarias de agua o riego para los plantones del vivero

El Cuadro 9 muestra la evapotranspiración de referencia en mm/día determinado con el programa Cropwat. Además, se observa el coeficiente de cultivo que tiene un valor de uno debido al policultivo que se desarrolla en el vivero.

**Cuadro 9.** Resultado de la evapotranspiración real del cultivo por día utilizando el programa Cropwat.

Meses	Evapot. de referencia (Eto) (mm/mes)	Evapot. de referencia (Eto) (mm/día)	Coeficiente del cultivo (Kc)	Evapotranspiración real del cultivo (Etc) (mm/día)
Enero	84.94	2.74	1.00	2.74
Febrero	78.40	2.80	1.00	2.80
Marzo	96.10	3.10	1.00	3.10
Abril	107.70	3.59	1.00	3.59
Mayo	112.84	3.64	1.00	3.64
Junio	110.70	3.69	1.00	3.69
Julio	120.28	3.88	1.00	3.88
Agosto	124.31	4.01	1.00	4.01
Septiembre	121.50	4.05	1.00	4.05
Octubre	109.12	3.52	1.00	3.52
Noviembre	94.80	3.16	1.00	3.16
Diciembre	80.91	2.61	1.00	2.61
Promedio	103.47	3.40		3.40

Con el producto de la evapotranspiración de referencia y el coeficiente de cultivo se determinó la evapotranspiración real del cultivo, la cual se refiere a una lámina de altura de agua que se pierde como evaporación por parte del suelo y transpiración por parte de la cobertura vegetal.

El Cuadro 10 muestra las precipitaciones mensuales confiables al 75% y no el promedio mensual, ya que un valor igual o superior a esta última puede que sólo se dé uno de cada muchos años.

**Cuadro 10.** Precipitaciones mensuales confiables al 75% de probabilidad y la precipitación efectiva que se da en la zona del vivero.

Meses	Promedios mensuales de precipitación (mm)	Índice de precipitación (Ip) 75%	Precipitación (Pp) 75%	Precipitación efectiva (Pp eft.)
Enero	440.8		414.35	166.44
Febrero	492.2		462.67	171.27
Marzo	407.0		382.58	163.26
Abril	284.7		267.62	151.76
Mayo	195.6		183.86	129.77
Junio	111.8	0.940	105.09	87.42
Julio	165.1		155.19	116.66
Agosto	98.5		92.59	78.87
Septiembre	158.9		149.37	113.67
Octubre	273.6		257.18	150.72
Noviembre	371.6		257.18	150.72
Diciembre	473.2		444.81	169.48

Por lo tanto, se determinó en el diseño el valor de precipitaciones mensuales confiables al 75% por ser el vivero productor de plantones para venta, donde los valores de esta son mayores a la precipitación efectiva.

Según CARRAZÓN (2007), en el caso de cultivos de alto valor económico, suelen trabajarse con precipitaciones al 90% de probabilidad, es decir, lluvias que estamos seguros que van a darse en un valor igual o superior en nueve de cada diez años. Para cultivos de poco valor económico como pueden ser los granos básicos suele recomendarse una probabilidad del 60%.

La precipitación efectiva mensual determinada a partir de la precipitación confiable al 75%, tienen valores menores, debido que no toda la precipitación que cae al suelo penetra de manera efectiva en este y es aprovechada por los plantones. Se observa que en el mes de diciembre hasta el mes de abril las precipitaciones tienen valores altos. Según CARRAZÓN (2007), en una lluvia determinada, sólo un porcentaje de la misma cumple la función de ser aprovechable por los cultivos, pues se producen pérdidas por escorrentía, evaporación y por percolación profunda.

En el Cuadro 11 se observa la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva, dando como resultado las necesidades netas diarias de riego, donde las necesidades netas no pueden ser, obviamente, menores que cero. Para los meses de enero hasta mayo y octubre hasta diciembre las necesidades netas son nulas debido a alta precipitación que se da en esos meses.

**Cuadro 11.** Resultado del cálculo de las necesidades netas diarias de riego para la unidad N° 9 del vivero.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ETc (mm/día)	2.74	2.80	3.10	3.59	3.64	3.69	3.88	4.01	4.05	3.52	3.16	2.61
Ppeft.75% (mm/día)	5.30	6.10	5.20	5.00	4.10	2.90	3.76	2.50	3.78	4.86	5.02	5.46
Nn (mm/día)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	0.12	1.51	0.27	0.00	0.00	0.00

En ciertos meses del año la precipitación es baja y la evapotranspiración del cultivo es alta, por lo tanto en esos meses hay necesidades de riego, en el caso del mes de junio hay una necesidad neta de riego de 0.79 mm por día esto equivale a  $0.79 \text{ L/m}^2$ , en el mes de julio hay una necesidad neta de riego de 0.12 mm por día esto equivale a  $0.12 \text{ L/m}^2$ , en el mes de agosto hay una mayor necesidad neta de riego de 1.51 mm por día el cual equivale a  $1.51 \text{ L/m}^2$ ; es con este valor que se calculó los parámetros de riego para todos los meses del año y en el mes de setiembre hay una necesidad neta de riego de 0.27 mm por día equivalente a  $0.27 \text{ L/m}^2$ .

La planta requiere de cierta cantidad de agua para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Sin embargo, dentro de su ambiente la planta no se encuentra aislada si no que forma parte de un microsistema, sujeto a entradas y salidas; y, por lo tanto, susceptible de efectuar un balance hídrico, ocasionado por la evapotranspiración real del cultivo (VÁSQUEZ *et al.*, 2008).

#### **4.1.2. Parámetros de riego**

En el Cuadro 12 se deduce que los valores que muestran los parámetros de riego reflejan todos los elementos del diseño agronómico que se emplearon en el diseño hidráulico. El cuadro muestra las necesidades netas diarias de riego que es de 1.51 mm el cual se expresa en lámina de altura de agua por metro cuadrado de área, a partir de este valor se generaron los demás parámetros.

**Cuadro 12.** Resultado del cálculo de los parámetros de riego para la unidad N° 9 del vivero.

Descripción	Unidad	Forma de determinación	Resultado	Unidades
Necesidades netas diarias de riego	Nn	Etc - P75%	1.51	mm
Agua utilizable	AU	$10 \times (Cc - Pmp) \times Da \times Pr$	36.00	mm
Dosis neta de riego	Dn	$(DPM \times AU) / 100$	18.00	mm
Máximo intervalo entre riegos	IM	$Dn / Nn$	12.00	día
Intervalo de riego ajustado	Iaj	Criterio	3.00	día
Dosis neta ajustada	Dn aj	$Iaj \times Nn$	4.53	mm
Eficiencia de aplicación	Ea	Tablas	90.00	%
Dosis bruta de riego	Db	$(100 \times Dnaj) / Ea$	5.03	mm
Tiempo de aplicación mínimo	Ta min	$(100 \times Db) / (Ib \times fp)$	0.20	horas
Necesidades brutas	Nb	$(100 \times Nn) / Ea$	1.68	mm
Área regable o caudal necesario	Sm	$(3600 \times Tos \times Q) / Nb$	642.85	m <sup>2</sup>
Numero de microaspersores	Nasp	$Q / Qasp$	150.00	Unidad
Distancia de traslape entre microaspersor	S	$0.6 \times Dh$	1.50	M
Distancia entre microaspersores ajustada	Saj	Criterio	1.4	m
Pluviometría de infiltración máxima	Pmax	$Ib \times (fp / 100)$	25.0	mm/h
Pluviometría del microaspersor	Pasp	$(Qa \times 3600) / Saj^2$	17.30	mm/h
Cálculo del tiempo de aplicación	Ta	$Db / Pasp$	0.30	hora

La dosis bruta de riego tuvo un valor de 5.03 mm, es la lámina de altura de agua que se necesita aplicar cada tres días para que el suelo tenga una humedad favorable y pueda ser aprovechada por las plantas, la cual dependió de dos factores: la tasa de infiltración básica del suelo y la pendiente del terreno que se da en un tiempo de aplicación mínimo de 0.20 hora.

Según CARRAZÓN (2007), la diferencia entre necesidad y dosis de riego es la siguiente: La necesidad es el volumen diario que necesitamos aportar a la planta por día. Como no regamos todos los días sino que utilizamos el suelo como “almacén” de agua, el día que reguemos deberemos aportar el agua de ese día más el de todos los días que hemos pasado sin regar, a esto se le llama dosis.

El cálculo del tiempo de aplicación se generó a partir de la dosis bruta de riego entre la pluviometría del microaspersor; siendo esta la precipitación artificial que se da en el sistema cuando los microaspersores se traslapan a 1.40 metros, el tiempo que se generó fue de 0.30 hora.

#### **4.2. Del diseño hidráulico**

En el Cuadro 13 se observa la información técnica del lateral de riego. Los valores de los diferentes elementos fueron obtenidos a partir del plano, catálogos de los materiales, del diseño agronómico y de fórmulas establecidas.

**Cuadro 13.** Resultado de la información técnica del lateral o porta emisor del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.

<b>Descripción</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Forma de determinación</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidades</b>
Longitud real del lateral	Lrl	Plano	14.00	m
Longitud equivalente de conexión del Microaspersor	Lem	(Lrl x 20 %)	2.80	m
Longitud ficticia del lateral	Lfl	Lrl + Lem	16.80	m
Número de laterales	Nºl	Plano	5.00	unidad
Diámetro nominal interno del lateral	Ø	Catálogo	13.20	mm
Factor de fricción de Hazen - Williams para (PEAD) 16 mm	C	Catálogo	140.00	
Número de microaspersor por lateral	Nºm/l	Diseño agronómico	10.00	unidad
Separación entre microaspersor		Diseño agronómico	1.40	m
Distancia entre el primer microaspersor al origen del lateral		Diseño agronómico	0.70	m
Desnivel geométrico del lateral entre extremos del ramal	Hzi	Plano	0.00	m
Caudal en el lateral	Ql	Nºm / l x Qm	400.00	L/h
Caudal del microaspersor	Qm	Catálogo	34.00	L/h
Presión de trabajo del microaspersor	H	Catálogo	10.00	m.c.a.

Además, el Cuadro 13 muestra la longitud real y la longitud ficticia que no es más que la sumatoria de la longitud real más el 20% de esta. Siendo la lateral manguera de (PEAD) de 16 mm de diámetro externo y de 13.20 mm de diámetro nominal interno abasteciendo un caudal de 400 L/h, caudal necesario para cada lateral con 10 microaspersores de 34 L/h.

También se muestran las especificaciones técnicas del microaspersor, como el caudal que emite, número de microaspersores por lateral y la presión mínima de 10 metros columna de agua (m.c.a.) que equivalen a 1 bar presión mínima necesaria de trabajo para un buen riego.

El desnivel geométrico del lateral entre extremos del ramal tiene una pendiente casi nula. Cabe indicar que los laterales se encuentra a una altura de 2.30 m a partir del nivel del suelo.

En el Cuadro 14 se observa la información técnica de la tubería terciaria o porta lateral riego. Los valores de los diferentes elementos fueron obtenidos a partir del plano, catálogo de tubería y de fórmulas establecidas. El cuadro muestra la longitud real y la longitud ficticia que no es más que la sumatoria de la longitud real más el 10% de esta. Siendo la terciaria manguera (PEAD) de 1 pulgadas de diámetro externo y de 28 mm de diámetro interno. Circulando un caudal 1700 L/h, caudal necesario para abastecer a los cinco laterales de riego.

**Cuadro 14.** Resultado de la información técnica de la tubería terciaria del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.

Descripción	Símbolo	Forma de determinación	Resultado	Unidad
Longitud real de la terciaria	Lrt	Plano	11.90	m
Longitud equivalente de conexión de la terciaria	Let	Let x10 %	1.19	m
Longitud ficticia de la tubería terciaria	Lft	Lrt + Let	13.00	m
Diámetro nominal interno de la tubería terciaria	Ø		28.00	mm
Caudal de la tubería terciaria	Qt	NºI x QI	1700.00	L/h
Factor de fricción de Hazen - Williams para (PEAD) 32 mm	C	Catálogo	140.00	
Desnivel geométrico de la terciaria entre extremos del ramal	Hzt	Plano	0.00	m

El desnivel geométrico de la tubería terciaria entre extremos del ramal indica que la pendiente de la zona donde está situada la terciaria es casi nula. Cabe indicar que la tubería terciaria se encuentra a 2.30 m a partir del nivel del suelo.

En el Cuadro 15 se observa la información técnica de la tubería secundaria de material de (PVC). Los valores de los diferentes elementos fueron obtenidos a partir del plano, catálogo de tubería y de fórmulas establecidas. El cuadro la longitud real de la tubería siendo similar a la longitud ficticia, el diámetro externo de la tubería secundaria es de 1 pulgada y de 28

mm de diámetro interno, circulando un caudal de 1700 L/h similar a la tubería secundaria.

**Cuadro 15.** Resultado de la información técnica de la tubería secundaria del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.

Descripción	Símbolo	Forma de determinación	Resultado	Unidad
Longitud real de la tubería secundaria	Lrs	Plano	2.75	m
Longitud ficticia de la tubería secundaria	Lfs	= Lrs	2.75	m
Diámetro interno de la tubería secundaria	Ø	Catálogo	28.00	m
Factor de fricción de Hazen - Williams para (PVC) 1"	C	Catálogo	150.00	
Caudal en la tubería secundaria	Qs	Nºt x Qt	1700.00	L/h
Desnivel geométrico en la tubería secundaria entre extremos del ramal	Hzs	Plano	2.30	m

El desnivel geométrico de la tubería secundaria entre extremos del ramal es de 2.30 m, debido al modo vertical que fue colocada la tubería secundaria para que pueda subir el agua hasta la tubería terciaria.

En el Cuadro 16 se observa la información técnica de la tubería primaria de PVC o también llamada red principal ya que está unida al motor, los valores de los diferentes elementos fueron obtenidos a partir del plano, catálogo de tubería y de fórmulas establecidas. El cuadro muestra la longitud

real de la tubería siendo similar a la longitud ficticia, el diámetro externo de la tubería primaria es de 1 pulgada y de 28 mm de diámetro interno, circulando un caudal de 1700 L/h la cual abastecerá a la tubería secundaria.

**Cuadro 16.** Resultado de la información técnica de la tubería primaria del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.

Descripción	Símbolo	Forma de determinación	Resultado	Unidad
Longitud real de la tubería primaria	Lrp	Plano	10.62	m
Longitud ficticia de la tubería primaria	Lfp	= Lrp	10.62	m
Diámetro interno de la tubería primaria	Ø	Catálogo	28.00	mm
Factor de fricción de Hazen - Williams para (PVC) 1"	C	Catálogo	150.00	
Caudal en la tubería primaria	Qp	N°s x Qs	1700.00	L/h
Desnivel geométrico en la tubería primaria entre extremos del ramal	Hzp	Plano	0.00	m

El desnivel geométrico de la tubería primaria entre extremos del ramal indica que la pendiente de la zona donde está situada la tubería primaria es casi nula. Generalmente la red principal va enterrada en el suelo.

En el Cuadro 17 se observan las pérdidas de carga que se originan en toda la red de tuberías y la presión necesaria que necesita el sistema para llevar el agua hasta el microaspersor más lejano.

**Cuadro 17.** Resultado de la pérdida de carga y presión del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.

Descripción	Símbolo	Fórmula	Resultado	Unidad
Pérdida de carga en el lateral	hfl	Hazen - Williams	1.28	m.c.a.
Presión necesaria en el origen del lateral porta emisor	Hl	$H+0.73xhfl+Hzl/2$	10.94	m.c.a.
Pérdida de carga en la tubería terciaria	hft	Hazen - Williams	0.50	m.c.a.
Presión necesaria en el origen de la terciaria	Ht	$Hl+0.73xhft+Hzt/2$	11.31	m.c.a.
Pérdida de carga en la tubería secundaria	hfs	Hazen - Williams	0.11	m.c.a.
Presión necesaria en el origen de la tubería secundaria	Hs	$Ht+0.73xhfs+Hzs/2$	12.54	m.c.a.
Pérdida de carga en la tubería primaria	hfp	Hazen - Williams	0.16	m.c.a.
Presión necesaria en el origen de la tubería primaria	Hp	$Hs+0.73xhfp+Hzp/2$	12.80	m.c.a.
Pérdida de carga por los elementos menores (5%)	hfm	$(Hp \times 0.05)$	0.63	m.c.a.
Perdida de carga total en el sistema	hf	$Hp + hfm$	13.43	m.c.a.
Potencia requerida de la bomba			14.00	m.c.a.

También se muestra en el Cuadro 17 la pérdida de carga de los elementos menores (filtros, válvula de aire, codos, etc.) siendo el 5% de la presión necesaria en el origen de la tubería primaria.

Según LAZARO (2004), las pérdidas de carga en puntos singulares o localizados se producen en los elementos accesorios o singulares de las tuberías, en los cuales, debido a la variación de la sección, a cambios de dirección o a ambas cosas a la vez, se modifica la velocidad de la corriente y surgen torbellinos que producen una pérdida de energía independiente a la producida por el rozamiento continuo en el mismo tramo de la tubería.

La pérdida de carga total en el sistema fue de 13.43 m.c.a., presión necesaria que necesita el sistema para que funcione correctamente todos los microaspersores y trabajen con la mayor similitud. Por lo tanto, la potencia requerida por la bomba fue de 1.4 bares o de 14 m.c.a.

#### **4.3. De la fase de construcción**

La fase de construcción se desarrolló según las normas y los plazos de construcción, siguiendo de manera ordenada cada una de las partidas. La toma instalada que abastece al tanque de almacenamiento deriva de la red principal de agua que va hacia la Facultad de Agronomía reduciendo la tubería de la toma a 1/2 pulgada de diámetro instalada en una zanja de 5 metros de longitud. El cabezal de riego lo conforma el tanque de 1100 litros, el motor de 1Hp, Tuberías de 1 pulgada de diámetro acoplado al filtro de anillo y el manómetro con sus respectivos uniones universales para su fácil desinstalación.

La red principal o tubería primaria es de 1 pulgada de diámetro y de 10.62 metros de longitud de las cuales 4.43 metros fueron instaladas en la zanja de 0.4 metros de ancho y 0.5 metros de profundidad. El resto se instaló al aire libre las cuales formaron parte del cabezal de riego. Para el relleno se aplicó capas de arena zarandeadas de 20.0 centímetros de espesor compactado con pizón de mano.

La tubería secundaria de 1 pulgada de diámetro y 2.30 metros de longitud fue instalada de modo vertical apoyado a la columna de la unidad N° 9 del vivero sujetado con alambre N° 14 con el fin de que el agua llegase a la tubería terciaria y para regular la entrada del agua se colocó una llave de paso.

La tubería terciaria de 1 pulgada de diámetro y 13 metros de longitud instalada a 2.30 metros del suelo sujetado con alambre N° 14 cumple la función de abastecer el caudal necesario a los laterales.

La cantidad de laterales de riego equivalen a cinco con longitud de 16.80 metros, las cuales están instaladas a 2.30 metros del suelo, utilizando como soporte la estructura metálica del techo del vivero. Cada lateral está conformada por diez microaspersores separados al inicio del ramal a 0.70 metro y entre microaspersores a 1.40 metros.

#### **4.4. De la fase de evaluación**

El Cuadro 18 muestra los volúmenes colectados en los tres puntos de cada lateral.

**Cuadro 18.** Resultado de la media de todos los caudales emitido por los microaspersores del sistema de riego de la unidad N° 9 del vivero.

Laterales	Primer emisor		Emisor medio		Ultimo emisor	
	(ml/min)	(L/h)	(ml/min)	(L/h)	(ml/h)	(L/h)
Primer lateral	525.0	31.5	550.0	33.0	560.0	33.6
Segundo lateral	530.0	31.8	556.0	33.4	480.0	28.8
Tercer lateral	542.0	32.5	558.0	33.5	576.0	34.6
Cuarto lateral	549.0	32.9	558.0	33.5	559.0	33.5
Quinto lateral	749.0	44.9	756.0	45.4	580.0	34.8
Caudal total por emisores		128.8		133.3		130.5
Media de todos los caudales.						34.5

Se muestra también el caudal que emiten los puntos en los laterales, observándose un mayor caudal para la fila del emisor medio con un total de 133.3 L/h, le sigue la fila del último emisor con un caudal total de 130.5 L/h y de menor caudal la fila del primer emisor con 128.8 L/h. La media o el promedio de todos los caudales evaluados fue de 34.5 litros por hora, el cual fue utilizado para el cálculo del coeficiente de uniformidad de caudales.

En el Cuadro 19 se muestran los caudales menores colectados en los tres puntos del emisor los cuales fueron de 31.5 L/h para el primer emisor de todos los laterales, 33.0 L/h para el emisor medio y 28.8 L/h para el ultimo emisor. La media o el promedio de los caudales que representan la cuarta parte con el más bajo caudal fue de 31.10 L/h.

**Cuadro 19.** Resultado de la evaluación del coeficiente de uniformidad de caudales del sistema de riego por miroaspersión de la unidad N° 9 del vivero.

Descripción	Símbolo	Fórmula	Resultado	Unidad
Caudal menor en el primer emisor de los laterales	q1		31.5	L/h
Caudal menor del emisor medio de los laterales	q2		33.00	L/h
Caudal menor del último emisor de los laterales	q3		28.80	L/h
Media de todos los caudales	Qe		34.50	L/h
Media de los caudales que representan la cuarta parte con el más bajo caudal	Q25%	$(q1+q2+q3)/3$	31.10	L/h
Coeficiente de uniformidad de caudales	CUC	$100x(Q25\%/Qe)$	90.10	%

El coeficiente de uniformidad de caudales para el sistema fue de 90.10% reflejando una buena distribución de caudales por parte de los micro aspersores del sistema de riego. En riego por aspersion, las alturas infiltradas son sustituidas por las pluviometrías medidas, mientras que, en riego localizado, se utilizan los caudales descargados por los emisores (SANTOS, 2010).

En el Cuadro 20 se observa la pluviometría recogida en cada recipiente por fila y la media o el promedio de todas las pluviometrías recogidas, de las cuales se obtuvo un valor de 22.9 ml. Cabe indicar que se trabajó con un tiempo de 18 minutos y una presión de 14 m.c.a.

**Cuadro 20.** Resultado de la media pluviométrica recogida por recipiente del sistema de riego por microaspersión de la unidad N° 9 del vivero.

Descripción	Fila 1 (ml/rec)	Fila 2 (ml/rec)	Fila 3 (ml/rec)	Fila 4 (ml/rec)	Fila 5 (ml/rec)
	21.0	25.8	17.5	21.0	23.5
	22.2	25.0	24.8	28.0	21.0
	22.0	30.2	23.8	19.0	23.0
	24.8	31.2	23.8	24.0	23.0
Pluviometría recogida por recipiente: (Zi)	26.0	29.2	23.2	24.5	23.5
	27.6	27.2	26.2	28.0	22.0
	25.8	24.6	24.8	27.0	21.0
	27.0	25.2	24.2	22.5	22.0
	18.0	21.0	19.8	23.0	20.0
	7.8	9.8	22.2	7.0	19.0
Media de la pluviometría recogida: (m)					22.9

En el Cuadro 21 se muestra los valores absolutos de la diferencia entre el agua recogida de todos los recipientes y la media del agua recogida y la suma de todos los valores absolutos, de las cuales se obtuvo el valor de  $|2.2|$  siendo igual a 2.2 ml.

**Cuadro 21.** Resultado de la suma de todos los valores absolutos de la diferencia entre la pluviometría recogida y la media de la pluviometría recogida.

Descripción	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5
	$ -1.9 $	$ 2.9 $	$ -5.4 $	$ -1.4 $	$ 0.6 $
	$ -0.7 $	$ 2.1 $	$ 1.9 $	$ 5.1 $	$ -1.9 $
	$ -0.9 $	$ 7.3 $	$ 0.9 $	$ -3.9 $	$ 0.1 $
Valores absolutos de la diferencia entre la pluviometría recogida y la media de la pluviometría recogida: $(X_i)$ , donde:	$ 1.9 $	$ 8.3 $	$ 0.9 $	$ 1.1 $	$ 0.1 $
$X_i =  Z_i - m $	$ 3.1 $	$ 6.3 $	$ 0.3 $	$ 1.6 $	$ 0.6 $
	$ 4.7 $	$ 4.3 $	$ 3.3 $	$ 5.1 $	$ -0.9 $
	$ 2.9 $	$ 1.7 $	$ 1.9 $	$ 4.1 $	$ -1.9 $
	$ 4.1 $	$ 2.3 $	$ 1.3 $	$ -0.4 $	$ -0.9 $
	$ -4.9 $	$ -1.9 $	$ -3.1 $	$ 0.1 $	$ -2.9 $
	$ -15.1 $	$ -13.1 $	$ -0.7 $	$ -15.9 $	$ -3.9 $
Suma de los valores absolutos ( $\sum X_i$ )					$ 2.2 $

En el Cuadro 22 se muestra el resultado del coeficiente de uniformidad de distribución del sistema de riego por microaspersión determinado mediante la ecuación de Christiansen, dando como resultado un valor de 90.40%, siendo un rango de bueno para la operación del sistema trabajando a la presión de 14 m.c.a.

**Cuadro 22.** Resultado del coeficiente de uniformidad de distribución.

Descripción	Símbolo	Fórmula	Resultados	Unidades
Media del agua recogida	m		22.9	ml
Suma de valores absolutos	$\sum X_i$		2.20	ml
Coeficiente de uniformidad de distribución	CUD	$100 \times (1 - \sum X_i / m)$	90.40	%

Para este tipo de sistema de riego MERRIAM y KELLER (1978), consideran esta uniformidad media como relativamente buena hasta un 94%.

## V. CONCLUSIONES

1. Se diseñó y construyó un sistema de riego tecnificado por microaspersión en la unidad N° 9 del vivero de la Facultad de Agronomía con 10 microaspersores por cama, en las cinco camas que conforman la unidad, dando un total de 50 microaspersores instalados.
2. Es imprescindible la aplicación del riego en el vivero de la Facultad de Agronomía, principalmente en los meses de junio a setiembre, donde se presentan las menores precipitaciones y una alta temperatura.
3. La dosis bruta de agua que requieren los plantones del vivero de la Facultad de Agronomía es de 5.03 litros por metro cuadrado en un intervalo de tres días entre riegos, con un tiempo de aplicación por parte del sistema de riego por microaspersión de 18 minutos por riego funcionando a la presión de 1.4 bares.
4. El sistema de riego por microaspersión instalado en el vivero de la Facultad de Agronomía refleja una buena uniformidad de caudales con un coeficiente de 90.10% y una uniformidad de distribución con un coeficiente de 90.40%, siendo un rango de bueno para la operación del sistema trabajando a la presión de 1.4 bares.
5. Se modificó el método de riego del vivero de la Facultad de Agronomía y se redujo el tiempo de riego, la cual permite regar mayor área en poco tiempo reduciendo la mano de obra.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Utilizar datos climatológicos promedios como mínimo de cinco años para la determinación de las necesidades de riego en el diseño agronómico.
2. Utilizar tuberías con los diámetros establecidos en el diseño hidráulico en cada sección del sistema con el fin de que pueda circular el caudal necesario para abastecer a todos los laterales y microaspersores.
3. Operar el sistema con el uso del manómetro y establecer la presión necesaria determinada en el diseño hidráulico para evitar la falta de uniformidad de riego por la baja o alta presión.
4. Ejecutar el mantenimiento continuo del sistema de riego por microaspersión, con la limpieza constante del filtro para evitar el paso de partículas que puedan obstruir a los microaspersores.
5. Realizar constantemente el monitoreo del funcionamiento de los microaspersores y realizar el mantenimiento de los que tengan problemas.
6. Continuar con esta línea de investigación en sistemas de riego tecnificados, con miras a implementar a la Universidad Nacional Agraria de la Selva con diferentes módulos de riego.

## VII. RESUMEN

Con el fin de tecnificar al vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, y mejorar su infraestructura de riego, se diseñó y construyó un sistema de riego tecnificado por microaspersión en la unidad N° 9 del vivero. Para el diseño de este sistema de riego se ha desarrollado dos etapas de diseño el agronómico y el hidráulico.

El trabajo de investigación se desarrolló en los meses comprendidos de julio a setiembre del año 2012, y constó de tres fases, la fase de gabinete que implicó la toma de datos y su diseño respectivo, para posteriormente en la fase de construcción plasmar el diseño en campo definitivo y la fase de evaluación donde se determina el buen funcionamiento del sistema.

El sistema de riego por microaspersión diseñado requiere de una presión de 1.4 bares o 14 metros columna de agua (m.c.a.), emitiendo un caudal en la línea principal de 1.5 Lt/s, los microaspersores instalados emiten caudal de 0.00958 Lt/s con la presión que se menciona, además el sistema realiza la distribución de la pluviometría de un 90.4% de uniformidad siendo un rango bueno en la operación del sistema.

Con el sistema de riego por microaspersión construida se ha reducido el tiempo de riego en un 80%, regando más área en menor tiempo. Actualmente el sistema de riego por microaspersión está en pleno funcionamiento, pudiéndose ampliar o acoplar hacia las demás unidades del vivero

## VIII. BIBLIOGRAFIA

1. AIDAROV, J.; GOLOVANOV, A. y MAMAEV, M. 1985. El Riego. Editorial MIR. - Moscú 368 p.
2. CARRAZÓN, A. J. 2007. Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA). Honduras. Pp. 50 – 115.
3. CISNEROS, A. R. 2003. Apuntes de la materia de riego y drenaje. Italia. Serie Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México. Pp. 78 – 81.
4. CNR. INIA. 1999. Elementos de riego tecnificado. Cartilla divulgativa de riego tecnificado. Santiago, Chile. 16 p.
5. FAO. ESTUDIOS DE RIEGO Y DRENAJE. 2006. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia. Pp. 103 – 115.
6. FUENTES, L. 1998. Técnicas de riego. 3ª ed. Madrid, España. Ediciones Mundi- Prensa. 515. La Molina – Perú. Pp. 3 – 10.
7. LAZARO, L. A. 2004. Manual de hidráulica. Universidad de Alicante. Edit. Publidisa Campus de San Vicente – España. 526 p.

8. MEDINA, J. 1997. Riego por goteo. 4ª ed. Madrid, España. Ediciones Mundi Prensa. 302 p.
9. MERRIAM, J. L. y KELLER, J. 1978. Farm irrigation systems evaluation. A guide for management, UTAH. State University. USA. 235 p
10. MOYA, J. 1994. Riego localizado y fertirrigación. Editoriales Mundi - prensa. Madrid, Barcelona y México.
11. PIZARRO, C. F. 1990. Riego localizado de alta frecuencia: goteo-microaspersión – exudación. 2da Edición. Editorial Mundi - Prensa. Impreso en España. Pp. 56 - 225.
12. REKMANN, A. O., VERGARA, C. J. y PONCE B. M. 2005. Manual de evaluación de sistemas de riego tecnificado, Boletín técnico INIA N° 80 Rayentue – Chile. 52 p.
13. REVISTA EXTRA. 2005. Sistemas de riego para uso en vivero. [En Línea]: (<http://www.horticom.com/pd/imagenes/69/066/69066.pdf>, Doc. 20 de abril del 2012).
14. RODRIGO, L. J.; HERNÁNDEZ, A. J.; PÉREZ, R. A. y GONZÁLEZ. H. J. 1997. Riego Localizado. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica. Ediciones Mundi-Prensa (2da edición), 405p.

15. SANTOS, P. L. 2010. El Riego y sus Tecnologías. Instituto superior de agronomía, universidad técnica de Lisboa - Portugal. Pp. 12- 228
16. VÁSQUEZ, V. A., VÁSQUEZ R. I. y VILCHEZ, O. G. 2008. Principios Básicos del Riego. Edit. Fimart. Lima – Perú. pp 130 – 230.
17. VERMEIREN, L. y JOBLING, G. A. 1986. Riego localizado. FAO. Roma, Riego y Drenaje N° 36, 203 p.

## **IX. ANEXOS**

Anexo 1: Coeficientes de cultivo de algunas plantaciones tropicales

**Cuadro 23.** Coeficiente de cultivo (Kc), en sus diferentes fases para frutales tropicales según FAO (2006).

Cultivo		Kc	Kc	Kc	Altura
		ini	med	fin	max. Cultivo (h) (m)
Frutas tropicales					
Banana	1er. año	0.50	1.10	1.00	3.00
	2do. año	1.00	1.20	1.10	4.00
Cacao		1.00	1.05	1.05	3.00
Café	Suelo sin cobertura	0.90	0.95	0.95	2 – 3
	Con malezas	1.05	1.10	1.10	2 – 3
Palma aceitera		0.90	1.00	0.95	8.00
Piña	Suelo sin cobertura	0.50	0.30	0.30	0.60 - 1.2
	Con cobertura de gramíneas	0.50	0.50	0.50	0.60 - 1.2
Cítricos	Sin cobertura del suelo	0.70	0.65	0.70	4.00
	Con cobertura activa o malezas	0.75	0.70	0.70	4.00

## Anexo 2. Fórmulas utilizadas en el cálculo de la precipitación efectiva

### a. Precipitación confiable

#### - Índice de precipitación ( $I_p$ )

Se comienza ordenando los datos de precipitación anual de mayor a menor.

Los datos a ingresar son:

$P$  = Precipitación de cada año

$P_p$  = Promedio de precipitación anual

La fórmula a utilizar es:

$$I_p = \frac{P}{P_p}$$

#### - Probabilidad de ocurrencia ( $Pr$ ) (%)

Se calcula la probabilidad de ocurrencia de cada valor de precipitación anual mediante la llamada fórmula de Hanzen:

Los datos a utilizar son:

$M$  = Número de orden de cada valor de precipitación anual

$N$  = Número de años de la serie de datos

La fórmula de Hazen a utilizar es:

$$Pr = \frac{2 \times M - 1}{2 \times N} \times 100$$

- **Índice de precipitación al 75% o al 90%**

Luego de calcular el índice de precipitación ( $I_p$ ) y la probabilidad de ocurrencia ( $Pr$ ), calcularemos el índice de precipitación con probabilidades más redondeadas como el 75% o 90%. Para averiguar el índice de precipitación para una probabilidad dada, buscaremos los valores de  $I_p$  para la  $Pr$  inmediatamente mayor y para la inmediatamente menor a la buscada, y seguidamente aplicaremos la siguiente fórmula:

$$I_p \text{ buscado} = I_p \text{ mayor} - \frac{Pr \text{ buscado} - Pr \text{ menor}}{Pr \text{ mayor} - Pr \text{ menor}} \times (I_p \text{ mayor} - I_p \text{ menor})$$

Obtenido el valor del índice de precipitación para la probabilidad deseada, lo multiplicaremos por los valores de la precipitación mensual, de modo que tendremos las precipitaciones mensuales confiables a la probabilidad deseada.

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$Pp75\% \text{ (mm/mes)} = I_p \text{ buscado} \times Ppm$$

Dónde:  $Pp75\%$ , es la precipitación confiable mensual al 75%;  $Ppm$ , es el promedio mensual de precipitaciones en (mm).

## b. Precipitación efectiva

Para el cálculo de la precipitación efectiva se proponen las ecuaciones utilizadas por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS). Estas ecuaciones se calculan a partir de la precipitación mensual (la probable, no la promedio) y son las siguientes:

El dato a ingresar es la siguiente:

$P_{p75\%}$  = Precipitación confiable mensual al 75%

Las fórmulas que se utilizan son:

- Para una precipitación mensual confiable al 75% menor de 250 mm:

$$P_e = (125 - 0.2 \times P_{p75\%}) \times \frac{P_{p75\%}}{125}$$

- Para una precipitación mensual confiable al 75% mayor o igual a 250 mm:

$$P_e = 0.1 \times P_{p75\%} + 125$$

### Anexo 3. Fórmula y tablas para calcular la pérdida de carga

#### a. Pérdida de carga debido al rozamiento en las tuberías (*HF*)

Los datos a ingresar son:

- L = Longitud de la tubería (m)
- Q = Caudal del agua en la tubería (l/s)
- C = Factor de fricción de Hanzen Williams
- D = Diámetro interior (mm)

La fórmula de Hanzen – Williams utilizada es la siguiente:

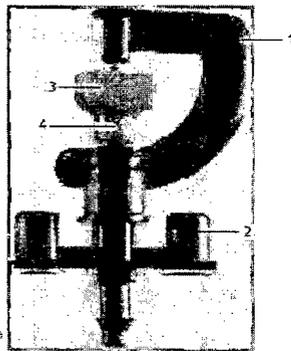
$$HF = 1.21 \times 10^{10} \times L \times (Q/C)^{1.852} \times D^{-4.87}$$



# MICROASPERSOR 8855

montado sobre varilla soporte

- Riego de frutales, hortalizas, invernaderos, flores, etc.
- Muy buena distribución de agua. Gran cobertura.
- Baja velocidad de aplicación.
- Descargas según cuadro, obtenidas con sólo colocar la correspondiente boquilla, claramente diferenciada por su código de colores, estando el micro-aspersor a una altura de 20 cm del suelo.



1. Puente  
2. Base  
3. Bailarina  
4. Boquilla



Opcionalmente pueden suministrarse además la bailarina antiinsectos y la dinámica.

### Antimist

Accesorio que aumenta el tamaño de las gotas mejorando la distribución del agua al dar una mayor resistencia a los desplazamientos por efecto del aire.

Se recomienda su uso en instalaciones al aire libre.

Boquilla	Presión atm	Caudal lh	Diámetro de cobertura (m)			
			Bailarina negra	Bailarina naranja	Bailarina negra monochorro	Bailarina verde monochorro invertida
Violeta 0,82 mm	1,0	25	4,5	-	4,0	5,5
	1,5	30	5,0	-	4,5	6,0
	2,0	35	5,5	-	5,5	6,5
	2,5	39	6,0	-	6,0	7,0
	3,0	43	-	-	6,0	7,0
Marrón 0,94 mm	1,0	32	4,5	-	4,5	6,0
	1,5	39	5,0	-	5,5	6,5
	2,0	45	5,5	-	6,0	7,0
	2,5	50	6,0	-	6,0	7,0
	3,0	55	-	-	6,0	7,0
Gris 1,16 mm	1,0	49	5,5	-	5,5	7,0
	1,5	61	5,5	-	6,5	7,5
	2,0	70	5,5	-	7,0	8,0
	2,5	78	6,0	-	7,5	8,5
	3,0	86	-	-	8,0	9,0
Verde 1,41 mm	1,0	74	5,5	-	6,5	7,5
	1,5	91	6,0	8,0	7,5	8,0
	2,0	105	6,0	9,0	8,0	8,0
	2,5	117	6,5	9,5	8,5	8,5
	3,0	129	-	10,0	9,0	9,0
Naranja 1,50 mm	1,0	85	6,0	-	6,5	8,0
	1,5	104	6,5	8,5	7,5	8,5
	2,0	120	6,5	9,0	8,0	8,5
	2,5	134	7,0	9,5	8,5	8,5
	3,0	147	-	10,0	9,0	9,5
Verde 1,41 mm	1,0	32	2,0	-	-	-
	1,5	37	3,0	-	-	-
	2,0	40	4,0	-	-	-
	2,5	43	4,0	-	-	-
	3,0	46	4,0	-	-	-
Naranja 1,50 mm	1,0	50	4,0	-	-	-
	1,5	61	5,0	-	-	-
	2,0	70	5,5	-	-	-
	2,5	76	5,5	-	-	-
	3,0	82	5,5	-	-	-
Amarilla 1,73 mm	1,0	65	4,0	-	-	-
	1,5	75	5,0	-	-	-
	2,0	90	5,5	-	-	-
	2,5	95	6,0	-	-	-
	3,0	106	6,0	-	-	-
Azul 1,92 mm	1,0	87	4,0	-	-	-
	1,5	107	5,0	-	-	-
	2,0	120	6,0	-	-	-
	2,5	130	6,5	-	-	-
	3,0	139	7,0	-	-	-

\* Alcance con el microaspersor boca abajo a 1,80 m sobre el nivel del suelo.



Figura 4. Características y especificaciones técnicas del microaspersor 8855.

**PERDIDAS DE CARGA TUBERIA PVC**

Cálculos de la perdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la formula De Hazen - Williams.

D. Nominal (mm)		20		25		32		40		50		63	
Caudal		Pc	V	Pc	V								
lps	m <sup>3</sup> /h												
0.01	0.16	0.02	0.04										
0.02	0.32	0.08	0.09	0.02	0.05								
0.04	0.63	0.29	0.18	0.08	0.11								
0.06	0.95	0.62	0.26	0.18	0.16								
0.08	1.27	1.06	0.35	0.30	0.21								
0.10	1.59	1.61	0.44	0.46	0.26								
0.20	3.17	5.80	0.88	1.65	0.53	0.43	0.30						
0.30	4.76	12.30	1.32	3.50	0.79	0.91	0.45						
0.40	6.34	20.95	1.76	5.97	1.05	1.55	0.61						
0.50	7.93	31.68	2.20	9.02	1.32	2.35	0.76	0.72	0.47				
0.60	9.51	44.40	2.64	12.65	1.58	3.29	0.91	1.01	0.56				
0.70	11.10			16.83	1.84	4.38	1.06	1.34	0.65				
0.80	12.68			21.55	2.10	5.61	1.21	1.71	0.74				
0.90	14.27			26.80	2.37	6.98	1.36	2.13	0.84	0.66	0.52		
1.00	15.85			32.58	2.63	8.49	1.51	2.59	0.93	0.81	0.58		
1.20	19.02					11.89	1.82	3.63	1.12	1.13	0.69		
1.40	22.19					15.82	2.12	4.83	1.30	1.51	0.81	0.46	0.50
1.60	25.36					20.26	2.42	6.19	1.49	1.93	0.92	0.59	0.57
1.80	28.53					25.20	2.73	7.69	1.67	2.40	1.04	0.73	0.64
2.00	31.70							9.35	1.86	2.92	1.15	0.89	0.71
2.20	34.87							11.16	2.05	3.48	1.27	1.06	0.78
2.40	38.04							13.11	2.23	4.09	1.38	1.24	0.85
2.60	41.21							15.20	2.42	4.74	1.50	1.44	0.92
2.80	44.38							17.44	2.60	5.44	1.61	1.66	0.99
3.00	47.55									6.18	1.73	1.88	1.06
3.25	51.51									7.17	1.87	2.18	1.15
3.50	55.48									8.22	2.02	2.50	1.24
3.75	59.44									9.34	2.16	2.84	1.33
4.00	63.40									10.53	2.31	3.21	1.41
4.25	67.36									11.78	2.45	3.59	1.50
4.50	71.33									13.10	2.59	3.99	1.59
4.75	75.29											4.41	1.68
5.00	79.25											4.85	1.77
5.25	83.21											5.30	1.86
5.50	87.18											5.78	1.95
5.75	91.14											6.28	2.03
6.00	95.10											6.79	2.12
6.25	99.06											7.33	2.21
6.50	103.03											7.88	2.30
6.75	106.99											8.45	2.39
7.00	110.95											9.04	2.48
7.25	114.91											9.64	2.56

Pc = Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100 m de tubería  
 V = Velocidad en metros por segundo (m/s)  
 C = 150  
 CALCULO EN BASE A DIAMETROS INTERNOS DE TUBERIA BAJA PRESION

Figura 5. Pérdida de carga en base a tuberías de PVC de menor presión por cada diámetro y el factor de fricción de Hazen - Williams.

## PERDIDAS DE CARGA TUBERIA PEAD

Cálculos de la perdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la formula De Hanzen -Williams

D. Nominal (mm)		32 mm (Diam. Externo)		40 mm (Diam. Interno)		50 mm (Diam. Externo)		63 mm (Diam. Externo)	
Caudal		Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V
lps	gpm								
0.300	4.76	1.42	0.52						
0.360	5.71	1.99	0.62						
0.420	6.66	2.64	0.72	0.89	0.46				
0.480	7.61	3.38	0.83	1.14	0.53	0.38	0.34		
0.550	8.72	4.35	0.95	1.47	0.61	0.49	0.39		
0.620	9.83	5.43	1.07	1.83	0.68	0.61	0.43		
0.690	10.94	6.63	1.19	2.23	0.76	0.75	0.48		
0.760	12.05	7.92	1.31	2.67	0.84	0.89	0.53		
0.840	13.31	9.54	1.45	3.22	0.93	1.07	0.59	0.35	0.37
0.920	14.58	11.29	1.58	3.81	1.01	1.27	0.65	0.41	0.41
1.000	15.85	13.17	1.72	4.44	1.10	1.48	0.70	0.48	0.44
1.080	17.12	15.19	1.86	5.12	1.19	1.71	0.76	0.56	0.48
1.160	18.39	17.34	2.00	5.85	1.28	1.95	0.81	0.64	0.51
1.260	19.97	20.21	2.17	6.82	1.39	2.27	0.88	0.74	0.56
1.360	21.56	23.28	2.34	7.85	1.50	2.62	0.95	0.86	0.60
1.460	23.14	26.55	2.51	8.96	1.61	2.99	1.02	0.98	0.65
1.560	24.73	30.02	2.68	10.12	1.72	3.38	1.09	1.10	0.69
1.680	26.63	34.43	2.89	11.61	1.85	3.87	1.18	1.27	0.74
1.800	28.53			13.20	1.98	4.40	1.26	1.44	0.80
1.920	30.43			14.87	2.11	4.96	1.35	1.62	0.85
2.040	32.33			16.64	2.25	5.55	1.43	1.81	0.90
2.160	34.24			18.50	2.38	6.17	1.52	2.02	0.96
2.280	36.14			20.45	2.51	6.82	1.60	2.23	1.01
2.400	38.04			22.48	2.64	7.50	1.68	2.45	1.06
2.550	40.42			25.16	2.81	8.39	1.79	2.74	1.13
2.700	42.80					9.33	1.89	3.05	1.20
2.850	45.17					10.31	2.00	3.37	1.26
3.000	47.55					11.34	2.10	3.70	1.33
3.150	49.93					12.41	2.21	4.05	1.40
3.330	52.78					13.75	2.34	4.49	1.48
3.530	55.95					15.32	2.48	5.01	1.56
3.730	59.12					16.97	2.62	5.54	1.65
3.950	62.61					18.87	2.77	6.16	1.75
4.170	66.09							6.82	1.85
4.390	69.58							7.50	1.95
4.610	73.07							8.21	2.04
4.860	77.03							9.05	2.15
5.110	80.99							9.93	2.26
5.360	84.96							10.85	2.38
5.610	88.92							11.81	2.49
5.860	92.88							12.80	2.60
6.110	96.84							13.83	2.71

Pc = Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100 m de tubería  
V = Velocidad en metros por segundo (m/s)  
C = 140  
CALCULO EN BASE A DIAMETROS INTERNOS DE TUBERIA PE BAJA PRESION

**Figura 6.** Pérdida de carga en base a tuberías de PEAD de menor presión por cada diámetro y el factor de fricción de Hanzen – Williams.

Anexo 4. Presupuesto de la instalación del sistema de riego por microaspersión  
 en la unidad N° 9 del vivero de la Facultad de Agronomía.

**Cuadro 24.** Presupuesto base.

Item	Descripción	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	Subtotal
01.00.00	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>					
01.01.00	LIMPIEZA DE TERRENO NORMAL	M <sup>2</sup>	312.00	0.10	31.20	
01.02.00	TRAZO Y REPLANTEO CON WINCHA	M <sup>2</sup>	312.00	0.20	62.40	93.60
02.00.00	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					
02.01.00	EXCAVACION DE ZANJA PARA TUBERIA	M <sup>3</sup>	1.90	10.00	19.00	
02.02.00	NIVELACION MANUAL DEL TERRENO	M <sup>2</sup>	312.00	0.10	31.20	
02.03.00	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	M <sup>2</sup>	14.60	0.73	10.66	60.86
03.00.00	<b>CABEZAL DE RIEGO</b>					
03.01.00	INSTALACION DEL MOTOR DE 1 HP	UND	1.00	634.00	634.00	
03.02.00	INSTALACION DEL TANQUE DE 1100 LT	UND	1.00	439.00	439.00	
03.03.00	INSTALACION ACCESORIOS Y VÁLVULA	UND	1.00	129.00	129.00	1,202.00
04.00.00	<b>RED PRINCIPAL DE CONDUCCIÓN</b>					
04.01.00	INSTALACION TUBERIA PVC SAP	M	9.00	9.40	84.60	
04.02.00	INSTALACION TUBERIA DE PEAD	M	3.00	90.50	271.50	
04.04.00	RELLENO DE ZANJA CON MATERIAL	M <sup>3</sup>	1.90	4.00	7.60	363.70
05.00.00	<b>LATERAL DE RIEGO Y EMISORES</b>					
05.01.00	CONEXION MANGUERA POLIETILENO 16 mm	M	84.00	0.80	67.20	
05.02.00	INSTALACION ACCESORIOS Y RAMALES	UND	5.00	8.30	41.50	
05.03.00	CONEXION DE MICROASPERSON	UND	50.00	5.00	250.00	358.70
<b>COSTO DIRECTO S/.</b>						<b>2,078.86</b>

Anexo 5. Fotografías de la instalación del sistema de riego por microaspersión.



Figura 7. Reconocimiento del terreno.

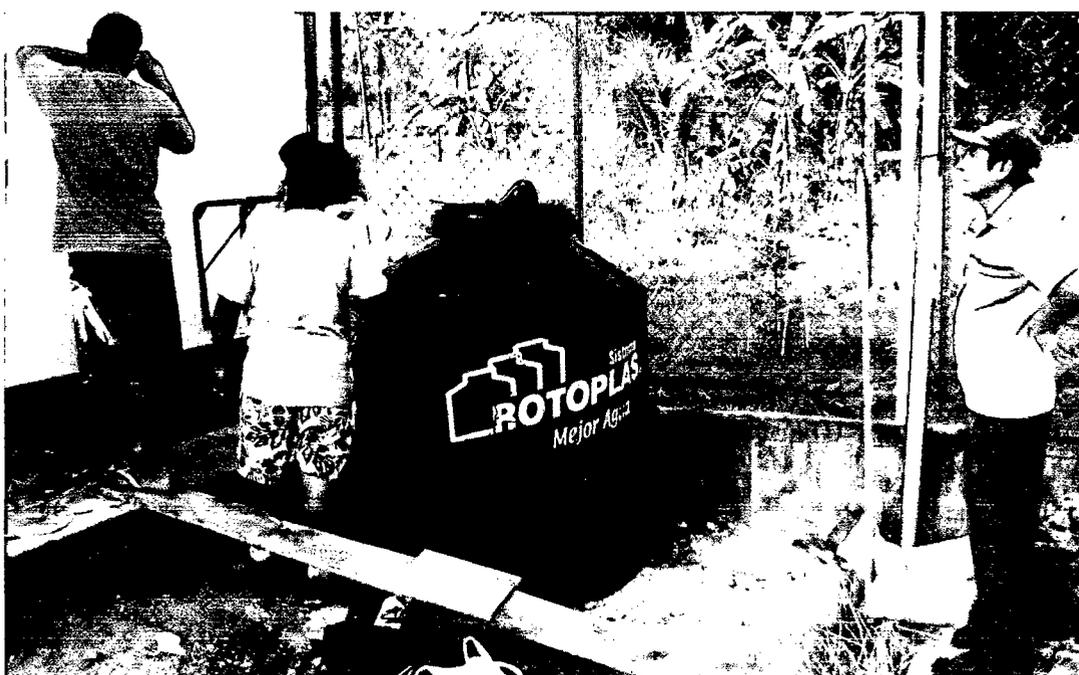
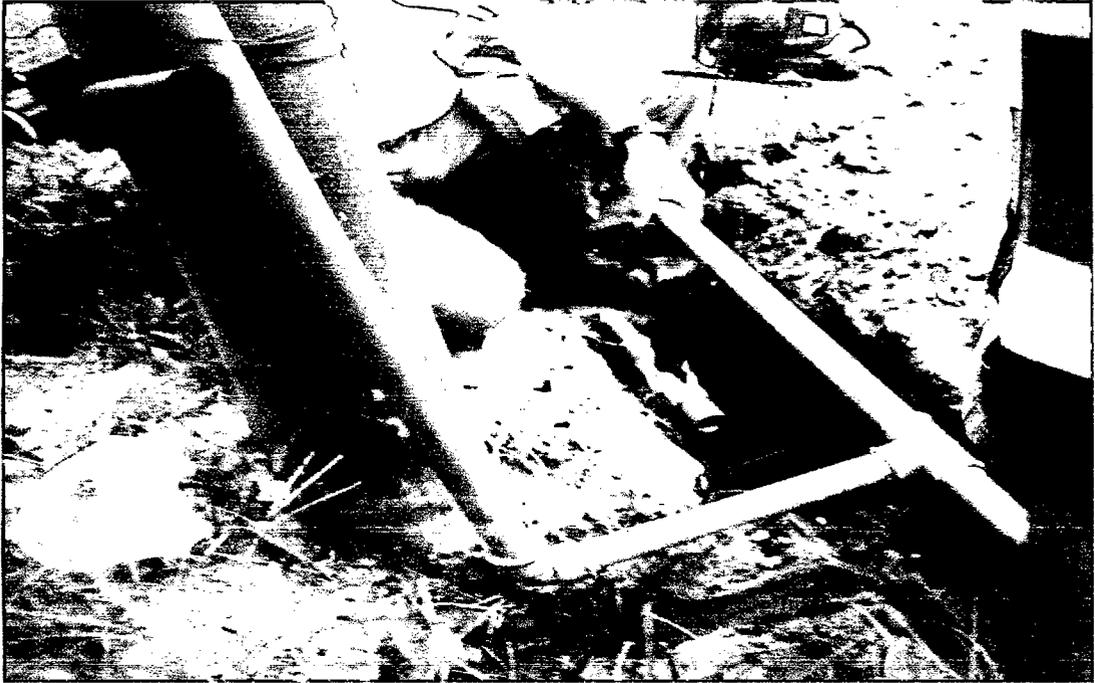


Figura 8. Instalación del cabezal de riego.



**Figura 9.** Instalación de la tubería primaria y secundaria.



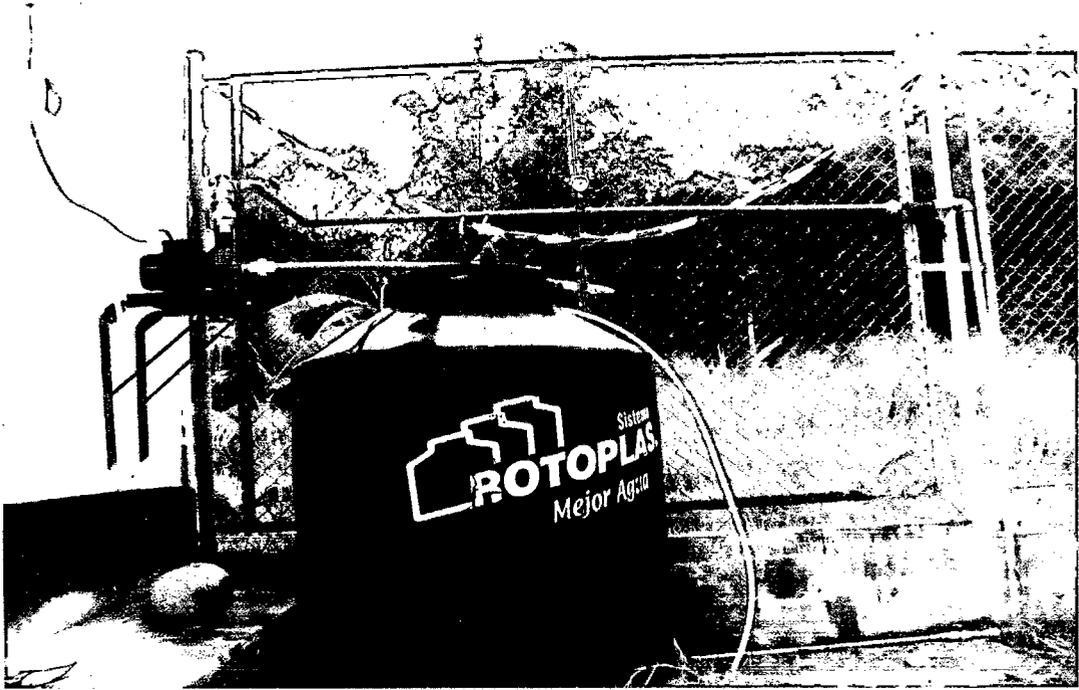
**Figura 10.** Instalación de la tubería terciaria.



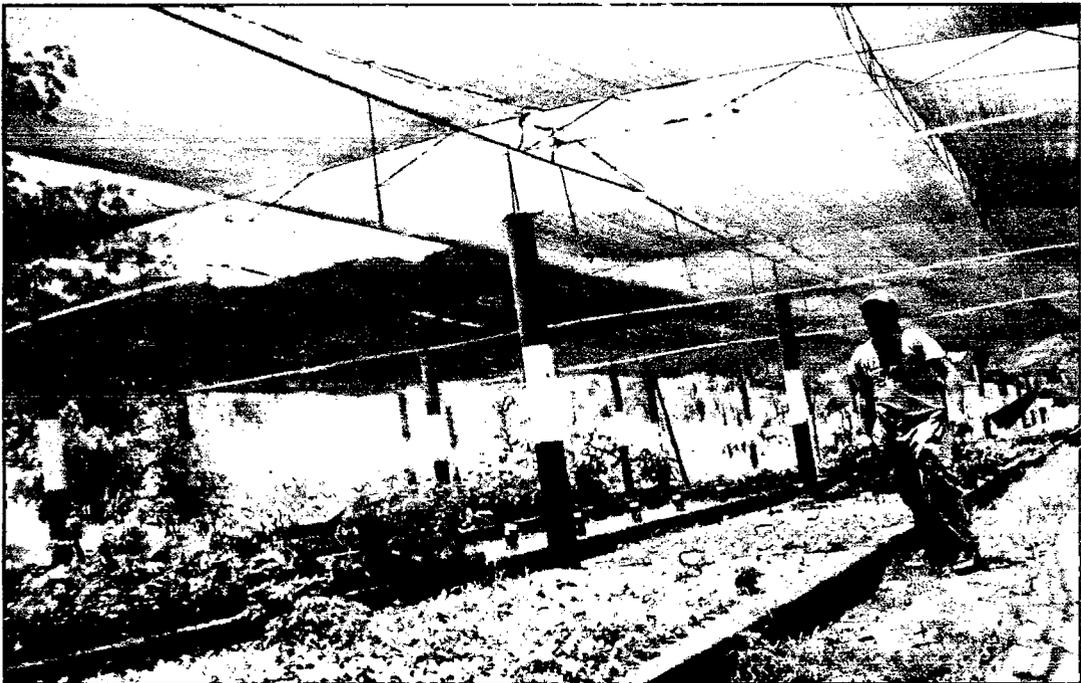
**Figura 11.** Instalación y funcionamiento de los laterales de riego.



**Figura 12.** Instalación de los microaspersores en los laterales de riego.



**Figura 13.** Instalación del cabezal de riego culminado.



**Figura 14.** Instalación del sistema de riego por microaspersión culminado.



**Figura 15.** Evaluación del coeficiente de uniformidad de caudales.



**Figura 16.** Evaluación de la uniformidad de distribución de los laterales.